



**TURUN AMMATTIKORKEAKOULU  
ÅBO YRKESHÖGSKOLA**

**Opinnäytetyö**

**METSÄKONEEN TAKARUNGO  
HITSAUKSEN ROBOTISOINNIN  
TUTKIMINEN**

**Veikko Vainio**

**Kone- ja tuotantotekniikka**

**2009**

Koulutusohjelma: Kone- ja tuotantotekniikka	
Tekijä: Veikko Vainio	
Työn nimi: Metsäkoneen takarungon hitsauksen robotisoinnin tutkiminen	
Tuotekehitystekniikka	Ohjaaja Jan Jansson, opettaja
Opinnäytetyön valmistumisajankohta 2009	Sivumäärä 53
<p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tarkastella turkulaisen Mesekon OY:n valmistaman metsäkoneen takarungon soveltuvuutta robottihitsaamiseen. Työssä tarkasteltiin myös robottihitsaussolun mahdollisesta hankinnasta aiheutuvia kustannuksia ja säästöjä sekä robottihitsausasemaan investoimisen kannattavuutta.</p> <p>Työ aloitettiin kartoittamalla tuotteen hitsit, niiden hitsausasennot ja railomuodot. Seuraavaksi selvitettiin aika, joka kuluu takarungon hitsaamiseen nykyisin käytössä olevin hitsausmenetelmin. Hitsaamiselle laskettiin myös teoreettinen valokaariaika käyttäen hitsausparametrien suositusarvoja.</p> <p>Seuraavana vuorossa oli robottihitsauksen simulointi. Tätä varten takarungon hitseille laadittiin robottihitsaukseen soveltuva hitsausjärjestys. Robotille luotiin off-line ohjelmoinnilla hitsausohjelma, jossa määriteltiin rungon hitsaamiseen tarvittavat liikeradat. Simuloinnissa käytettiin hyväksi Turun Koneteknologiakeskuksen robottihitsausaseman 3D-mallia ja tietokoneohjelmistoa. Simuloinnilla saatiin määritettyä robottihitsaukseen kuluva aika ja täten eri hitsausmenetelmien kustannuksia voitiin vertailla keskenään.</p> <p>Investointilaskelmien aikaansaamiseksi oli tiedettävä kyseisen tuotteen hitsaamiseen soveltuvan robottihitsausaseman ja tähän tarvittavien oheislaitteiden hankintahinta. Tämän selvittämiseksi tehtiin tarjouspyyntöjä useille robottihitsausasemien toimittajille. Robottijärjestelmän hankintahinnan ja hitsauksesta aiheutuvien kustannusten ollessa tiedossa voitiin suorittaa itse investointilaskelmat. Laskelmissa arvioitiin robottihitsauksesta yritykselle syntyvien menojen ja säästöjen suuruutta ja näiden kautta koko investoinnin kannattavuutta. Investointi todettiin kannattavaksi hitsattaessa kaikki robottihitsaukseen soveltuvat takarungon osat.</p> <p>Tästä työstä on poistettu luottamuksellisia tietoja.</p>	
Hakusanat: robotisointi, hitsausrobotti, metsäkone	
Säilytyspaikka: Turun ammattikorkeakoulun kirjasto	

## TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES ABSTRAC

Degree Programme: Mechanical engineering	
Author: Veikko Vainio	
Title: Examination on the robotization of a forwarder's rear chassis' welding	
Specialization line Product development technology	Instructor(s) Jan Jansson
Date 2009	Total number of pages 53
<p>The purpose of this degree work, was to examine a forwarder's rear chassis' suitability for robotised welding. The chassis was manufactured by Mesekon Ltd. The costs and savings caused by the possible acquisition of a robot welding station as well as the profitability of investing in one are also examined in this work.</p> <p>The work began by documenting all of the product's welds and welding positions. Next it was time to find out the time it takes to weld a single rear chassis with the welding equipment in use. A theoretical arc time was also calculated using reference values for the welding parameters.</p> <p>Then the robot welding procedure was simulated. A welding order, which was suitable for robotized welding, was created. Using off- line programming, the robot's movements needed for the welding procedure were defined. Machine Technology Centre Turku Ltd's robot welding station's 3D- model and Igrip- software were used in the simulation. The simulation enabled the determination of the duration of the robot welding operation. After that, it was possible to make comparisons on the expenses of different welding methods.</p> <p>For making investment calculations, the purchase price of a suitable robot welding station was needed. Offer requests were sent to vendors, in order to find out this price. After finding out the expenses of acquiring a welding station and the cost of welding the chassis manually, the investment calculations could be made. The savings and expenses caused by the robotization of welding were examined in the calculations, and thru these, the profitability of the whole investment.</p> <p>Confidential information has been removed from this degree work.</p>	
Keywords: welding, robot station, forwarder	
Deposit at: The library of Turku University Of Applied Sciences	

# SISÄLTÖ

<b>1</b>	<b>JOHDANTO</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>HITSAAMINEN</b>	<b>6</b>
2.1	Hitsaamisen perusteet	6
2.2	MIG- ja MAG-hitsaus	7
<b>3</b>	<b>ROBOTIT</b>	<b>8</b>
3.1	Robotin määritelmä ja sovellukset	8
3.2	Robottityypit ja rakenteet	10
3.2.1	Mekaaniset rakenteet	12
3.3	Hitsausrobotit	16
3.4	Robottiin investoimisen syitä	18
<b>4</b>	<b>METSÄKONEEN TAKARUNGON HITSAAMINEN</b>	<b>21</b>
4.1	Takarungon hitsaaminen käsin	21
4.1.1	Käsin hitsaamiseen käytettävä aika ja lisäainemäärät	22
4.2	Takarungon hitsaaminen robotisoidusti	26
4.3	Hitsausjärjestys robotilla	26
4.4	Robottihitsattavan tuotteen suunnittelu	29
<b>5</b>	<b>ROBOTTIHITSAUKSEN SIMULOINTI</b>	<b>31</b>
<b>6</b>	<b>ROBOTTIHITSAUSASEMAN TARJOUSPYYNTÖ</b>	<b>34</b>

<b>7</b>	<b>HITSAUSROBOTTIASEMAAN INVESTOIMINEN</b>	<b>37</b>
7.1	Investoinnin kannattavuuslaskelmat	39
7.1.1	Hitsauksen paloaikasuhteet	40
7.1.2	Kustannukset	41
7.1.3	Robottihitsaamisen tuomat vuotuiset säästöt	46
7.1.4	Investoinnin kannattavuuden arvioiminen nykyarvomenetelmällä	47
<b>8</b>	<b>YHTEENVETO</b>	<b>49</b>
<b>9</b>	<b>TYÖN ARVIOINTI</b>	<b>50</b>
<b>10</b>	<b>LÄHTEET</b>	<b>51</b>
<b>11</b>	<b>LIITTEET</b>	<b>53</b>

# 1 JOHDANTO

Hitsaamista pidetään melko likaisena ja karkeana valmistusmenetelmänä, kun taas robotit mielletään hienostuneiksi ja tarkkuutta vaativiksi työkaluiksi. Näiden kahden yhdistäminen ei välttämättä tule ensimmäisenä mieleen, mutta Suomessa robotteja onkin eniten käytössä juuri hitsaussovelluksissa. Robotilla hitsattavia rakenteita käytetään paljon mm. isojen ajoneuvojen rungoissa, telakkateollisuudessa, autoteollisuudessa sekä hitsauslaadultaan erittäin vaativissa kohteissa. Näissä kohteissa robottihitsauksen edut tulevat parhaiten esiin, sillä robotti on omiaan hitsaamaan monotonisia rakenteita, pitkiä saumoja ja jopa tunteja kestäviä hitsauksia.

Robotisointi on tällä hetkellä huimasti kehittyvä trendi, jonka käyttömahdollisuuksia ja -kohteita kehitetään jatkuvasti lisää. Tämän vuoksi onkin tärkeää luoda ajoissa vankka perusta robotisoidun hitsauksen käytölle, jotta hitsattavien tuotteiden kehitystyö tulevaisuutta ajatellen sujuisi mutkattomasti ja laitteiston kilpailukykyisyys pystyttäisiin säilyttämään vielä vuosiksi tulevaisuuteen.

Tämä opinnäytetyön toimeksiantajana on turkulainen Mesekon OY, ja työ on tehty yhteistyössä Turun Koneteknologiakeskuksen ja Innovan kanssa. Työn tarkoituksena on selvittää Mesekon OY:n asiakkaalleen valmistaman metsäkoneen takarungon soveltuvuutta robottihitsaukseen. Tavoitteena on myös selvittää robottihitsausasemaan investoimisen kannattavuutta ja robottihitsauksesta yritykselle syntyviä kustannuksia ja säästöjä. Tämän työn yhtenä tärkeänä osana on myös robottihitsausohjelman laadinta kyseiselle tuotteelle sekä hitsausprosessin simulointi käyttäen hyväksi Koneteknologiakeskuksen hitsausrobottisolua sekä etäohjelmointilaitteistoa.

## 2 HITSAAMINEN

### 2.1 Hitsaamisen perusteet

Standardin SFS 3052 mukaan hitsauksella tarkoitetaan osien liittämistä toisiinsa käyttämällä hyväksi lämpöä ja /tai puristusta siten, että osat muodostavat jatkuvan yhteyden. Hitsauksessa voidaan käyttää lisäainetta, jonka sulamispiste on suunnilleen sama kuin perusaineen sulamispiste.

Hitsausta käytetään mm. metallien, muovien ja keraamien liittämiseen. Hitsausta voidaan kutsua myös liitoshitsaukseksi, kun sitä käytetään liittämiseen. Hitsausta voidaan käyttää myös kappaleen pinnoittamiseen, jolloin siitä käytetään termiä päällehitsaus. (Lukkari 1997, 11.)

Nykyaikaisen hitsausteknologian historia ajoittuu 1900-luvun vaihteeseen. Kaasukaarihitsaus tuli mahdolliseksi, kun happi- asetyleenipoltin kehitettiin vuonna 1894. Ensimmäisen sähköisen hitsausmenetelmän keksi englantilainen Joule. Hän liitti yhteen ohuita teräslankoja vastushitsausperiaatteella. Kaarihitsauksen kehitys sijoittuu Venäjälle. Von Bernados julkaisi 1885 menetelmän, jossa käytettiin hiiltä valokaaren toisena napana. Slavianoff paransi menetelmää ja korvasi hiilipuikon metallipuikolla. Merkittävä edistys saavutettiin kaarihitsauksessa 1903, kun ruotsalainen Oscar Kjellberg teki kokeita päällystetyillä metallielektrodeilla hitsausominaisuuksien parantamiseksi. Jauhekaarihitsaus esiteltiin 1930-luvun loppupuolella, TIG- hitsaus 1941 ja viimein MIG/MAG-hitsaus 1948.

Hitsaus on nykyään ja tulee olemaan myös lähitulevaisuuden selvästi yleisin teräksen liittämismenetelmä. Hitsausta käytetään hyvin yleisesti myös seuraavien metallien liittämiseen: alumiinin, magnesiumin, titaanin, kuparin ja nikkelin. Hitsauksen kehitys suuntautuu tänä päivänä ominaisuuksiltaan hyvien ja metallurgisesti vaativien metalliseosten hitsaukseen. (Ihalainen, Aaltonen, Aromäki & Sihvonen 2003, 281.)

## 2.2 MIG- ja MAG-hitsaus

MIG- ja MAG-hitsaus ovat hitsausmenetelmiä, joissa langan muotoon vedetty lisäaine ohjataan hitsisulaan erikoista pistoolia, langansyöttölaitetta ja virtalähdettä käyttäen. Lisäainelangan sulattaa valokaari, joka palaa hitsattavan työkappaleen ja lisäainelangan pään välillä. (Grönlund 1985, 60.) Sekä hitsisula että siirtyvä lisäaine suojataan suojakaasulla, jotta ilma ja erityisesti happi saataisiin syrjäytettyä hitsisulan läheltä haitallisten kemiallisten reaktioiden välttämiseksi. Suojakaasu voi olla joko aktiivinen tai inertti kaasu. Aktiivinen suojakaasu reagoi hitsisulassa olevien aineiden kanssa, kun taas inertti ei reagoi. Aktiivinen suojakaasu on yleensä argonin ja hiilidioksidin, argonin ja hapen, argonin, hapen ja hiilidioksidin kaasuseos tai puhdas hiilidioksidi. Kun suojakaasu on aktiivinen, niin prosessista käytetään nimitystä MAG-hitsaus (Metal- arc Active Gas Welding). Inertti suojakaasu on argon, helium tai näiden kaasuseos, jolloin siitä käytetään nimitystä MIG-hitsaus (Metal- arc Inert Gas Welding). (Lukkari 1997, 159.)



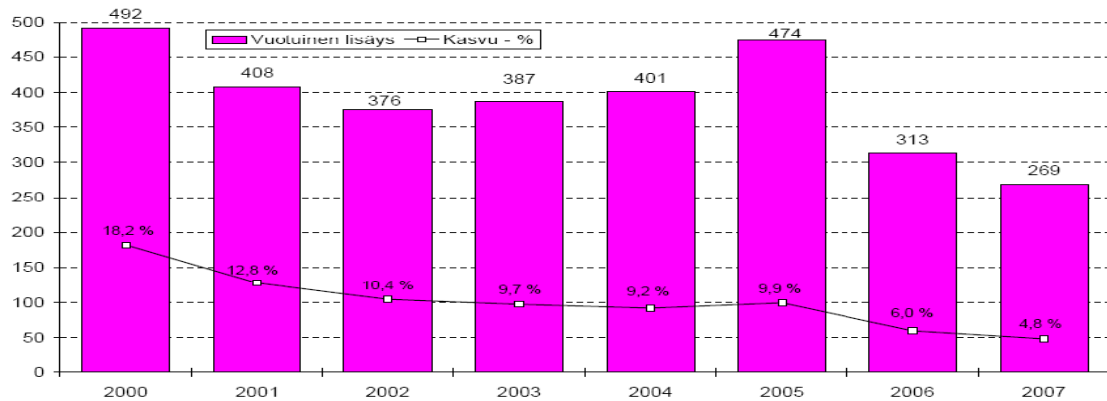
### 3 ROBOTIT

#### 3.1 Robotin määritelmä ja sovellukset

Sana robotti juontaa juurensa 1920-luvulla esitetystä tsekkiläisen kirjailijan Karel Capekin näytelmästä R.U.R (Rossum's Universal Robots). Tsekinkielinen termi robota tarkoittaa tehdä työtä pakosta. Robota-sana käännetään englanniksi sanalla robot. (Aaltonen, Torvinen 1997, 138.) Virallisimpana robotin määritelmänä voidaan pitää *The Robot Institute of America*'n lausetta: ”Robotti on uudelleen ohjelmoitavissa oleva laite, joka on suunniteltu liikuttamaan kappaleita, osia, työkaluja tai erikoislaitteita ohjelmoitavin liikkein monenlaisten tehtävien suorittamiseksi.” (Keinänen, Kärkkäinen, Metso & Putkonen 2001, 305.)

Aivan kuten muuallakin maailmassa, Suomessa on nähty teollisuusrobottien tuomat mahdollisuudet tuotannon edistämisessä ja nopeuttamisessa. Uusia robotteja onkin otettu käyttöön eri teollisuuden aloilla ahkerasti, ja Suomessa 2000-luvulla teollisuusrobottien määrä on lisääntynyt useilla sadoilla joka vuosi, kuten kuviosta 1 voidaan nähdä.

Suurin osa Suomessa käytössä olevista teollisuusroboteista toimii hitsauksen, kappaleenkäsittelyn tai kokoonpanon parissa. Vuonna 2007 Suomessa oli lähes 6 000 teollisuusrobottia, joista yli tuhat oli valjastettu hitsauskäyttöön. Taulukosta 1 voidaan huomata, että hitsausmenetelmistä kaarihitsaus oli selvästi dominoivin lähes 900 robotilla.



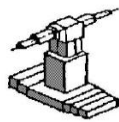
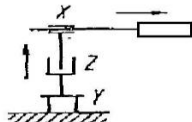
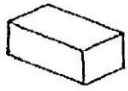

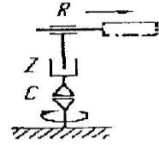

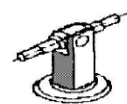
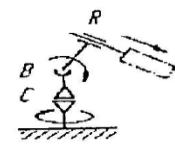
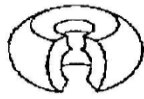
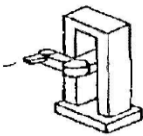
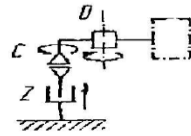
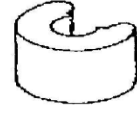

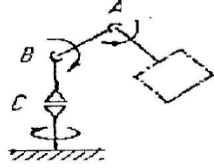


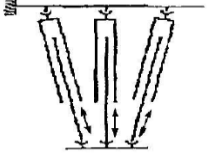

Kuvio 1. Suomeen asennetut teollisuusrobotit kunkin vuoden loppuun mennessä. (Suomen Robotiikkayhdistys ry 2008 [viitattu 7.1.2009]).

Taulukko 1. Suomen teollisuusrobotit teollisuustoimialoittain ja sovelluksittain vuosina 1972 – 2007 (Suomen Robotiikkayhdistys ry 2008 [viitattu 7.1.2009]).

SOVELLUS	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	YHT*
<b>110 VALAMISEN KAPPALEENKÄSITTELY</b>	10	20	4	3	10	0	0	0	64
111 Muottivälu	10	20	4	3	10	0	0	0	59
119 Muut valutavat	0	0	0	0	0	0	0	0	5
<b>130 RUIKUPURISTUKSEN KAPPALEENKÄS.</b>	95	44	31	42	44	55	26	19	772
<b>140 LÄMPÖKÄSITTELYN KAPPALEENKÄS.</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	2
<b>150 MEISTON JA TAKOMISEN KAPPALEENKÄS.</b>	1	1	1	2	0	0	0	0	11
<b>160 HITSAAUS</b>	22	31	37	81	61	77	57	55	1039
161 Kaarihitsaus	21	27	32	38	38	68	57	55	882
162 Pistehitsaus	1	1	5	43	21	6	0	0	133
163 Kaasuhitsaus	0	0	0	0	0	0	0	0	0
164 Laserhitsaus	0	2	0	0	2	1	0	0	6
169 Muut	0	1	0	0	0	2	0	0	17
<b>170 PINTAKÄSITTELY</b>	28	6	12	2	6	10	5	8	154
171 Maalaus	6	5	3	0	4	9	4	6	73
172 Tiivistys	16	0	5	1	0	0	0	2	33
179 Muut	6	1	4	1	2	1	1	0	48
<b>180 KONEISTUKSEN KAPPALEENKÄSITTELY</b>	53	66	66	64	79	62	85	86	917
181 Koneen panostus	33	45	45	45	48	55	77	83	666
182 Hionta, jäysteytys, kiillotus	20	20	13	15	23	6	7	3	171
189 Muut	0	0	2	3	1	1	1	0	80
<b>190 LEIKKAAMINEN</b>	12	9	11	8	15	6	10	12	117
191 Laserleikkaus	0	1	1	1	0	0	1	0	5
192 Vesisuihkuleikkaus	0	2	0	1	1	0	1	3	14
199 Muut	12	5	9	5	3	6	8	9	79
<b>200 KOKOONPANO</b>	133	144	87	94	57	74	8	9	960
201 Mekaaninen kokoonpano	112	136	67	85	49	68	6	9	799
202 Asennus	1	2	5	5	5	6	2	0	39
203 Sidonta	1	0	0	0	0	0	0	0	1
204 Juottaminen	0	0	0	0	0	0	0	0	6
205 Kokoonpanon kappaleenkäsittely	17	6	4	4	3	0	0	0	87
209 Muut	2	0	0	0	0	0	0	0	22
<b>210 PALETOINTI &amp; PAKKAUS</b>	64	51	74	64	69	60	88	63	783
<b>220 MITTAUS, TARKASTUS &amp; TESTAUS</b>	45	3	2	2	5	1	2	0	116
<b>230 KAPPALEENKÄSITTELY **</b>	19	30	40	17	44	94	24	10	681
<b>240 KOULUTUS &amp; TUTKIMUS</b>	9	2	7	8	9	29	6	1	166
<b>900 MUUT</b>	1	0	0	0	0	1	1	6	26
<b>000 MÄÄRITTELEMÄTÖN</b>	0	1	4	0	2	5	1	0	13
<b>VUOTUINEN KASVU</b>	492	408	376	387	401	474	313	269	
<b>KUMULOITUMA</b>	2701	3193	3601	3977	4364	4765	5239	5552	5821

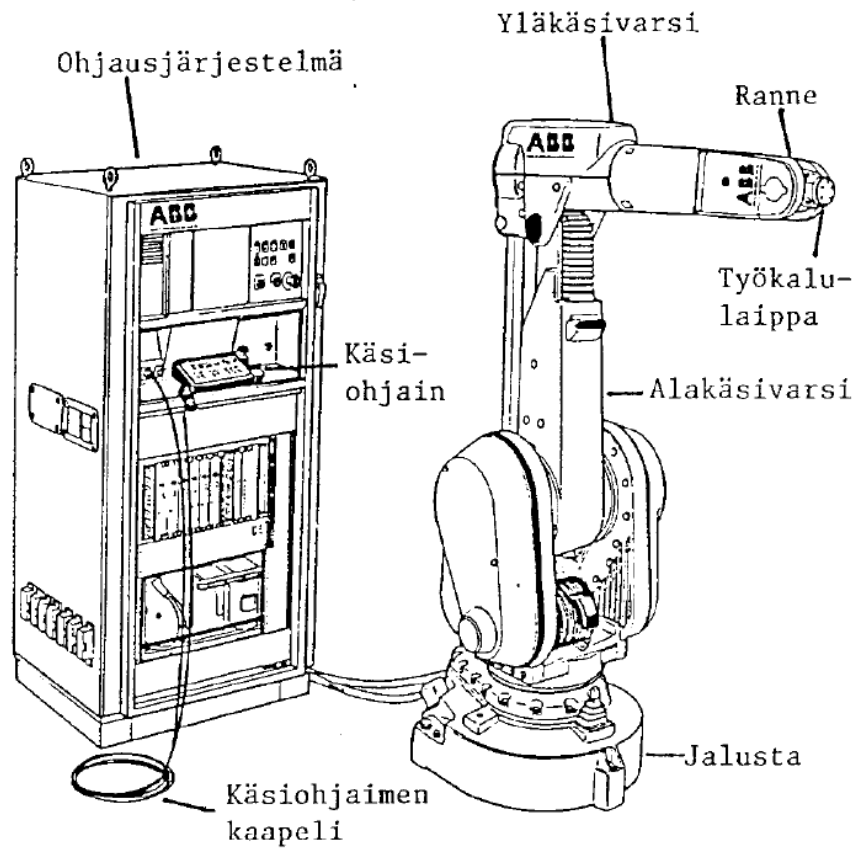
### 3.2 Robottityypit ja rakenteet

Teollisuusrobotteja on tähän mennessä valmistanut ainakin viisisataa yritystä; kunkin valikoimaan on kuulunut useita robottimalleja, joillakin jopa kymmenkunta. Yhden mallin elinkaari on kestänyt keskimäärin neljä vuotta. Lisäksi rakenteita on jouduttu erilaistamaan patenttien ja eri sovellusten vuoksi, joten erilaisia robotteja on suunniteltu useita tuhansia. Standardi ISO 8373 määrittelee teollisuusrobottien sanastoa ja myös yleisimmät robottimallit mekaanisen rakenteen mukaan. Yleisimmät rakenteet, niiden kinemaattiset kaaviot ja työalueet on esitetty kuvassa 1.

Nimitys pääakselin mukaan	Rakenne	Kinemaattinen kaavio	Työalue
Suorakulmainen robotti			
Sylinterirobotti			
Napakoordinaatisto-robotti			
Scara-robotti			
Kiertyvänivelinen robotti			
Rinnakkaisrakenteinen robotti			

Kuva 1. Yleisimpien robottityyppien rakenne- esimerkkejä (ISO 8373).

Teollisuusrobottien syntyessä 1960-luvulla pyrittiin yhdellä robottityypillä tekemään mahdollisimman paljon erilaisia tehtäviä, mutta myöhemmin eriytyminen erikoisrobotteihin on ollut selvää. Tuotannossa on kuitenkin muutamia teollisuusrobottimalleja, joita valmistetaan vuodessa tuhansittain. Kuvassa 2 on tyypillinen teollisuusrobotti ja sen tärkeimmät komponentit. (Kuivanen 1999, 13.)



Kuva 2. Teollisuusrobotti ja sen tavallisimmat komponentit.

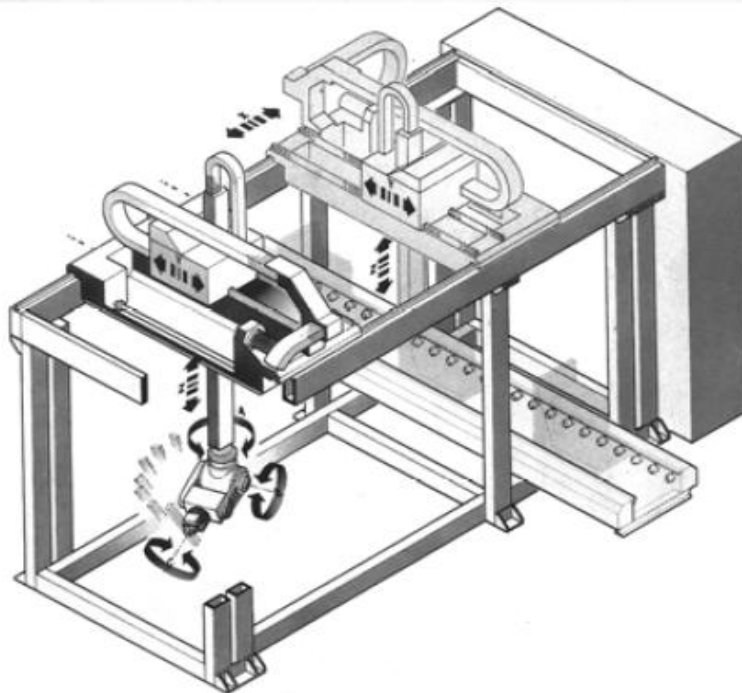
### 3.2.1 Mekaaniset rakenteet

Robotti koostuu tukivarsista, joista kaksi liikkuu toistensa suhteen joko tietyn suoran suunnassa tai suoran ympäri. Tätä käsitteellistä akselia kutsutaan usein niveleksi. Yhtä robotin perusliikettä eli niveltä sanotaan vapausasteeksi. Vapausasteet ovat teollisuusroboteissa kiertyviä tai suoria eli lineaarisia. Toimilaitteet liikuttavat tukivarsia toistensa suhteen ja tekevät varsinaisen työn. Vapausastetta kohti on yleensä yksi toimilaite (esimerkiksi sähkömoottori tai hydraulisylinteri).

Vakiintuneita robottityyppejä ovat

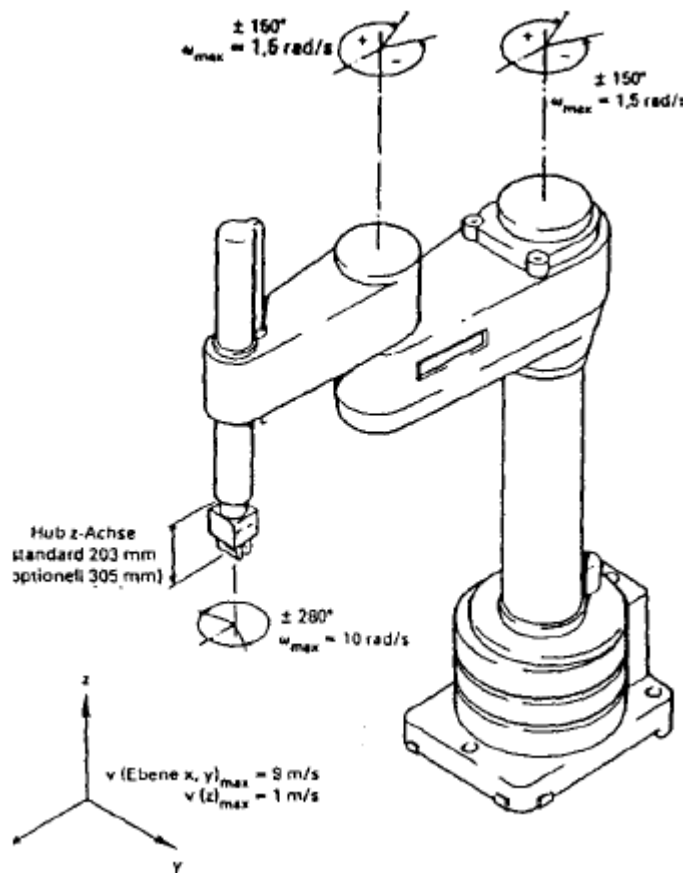
- suorakulmaiset robotit
- scara- robotit
- kiertyväniveliset robotit
- sylinterirobotit

Suorakulmaisten robottien kolme ensimmäistä vapausastetta ovat lineaarisia. Tyypillisintä edustajaa kutsutaan yleensä portaalirobotiksi. Sen rakenne on tuettu työalueen nurkista palkeilla, kuten kuvasta 3 voidaan nähdä.



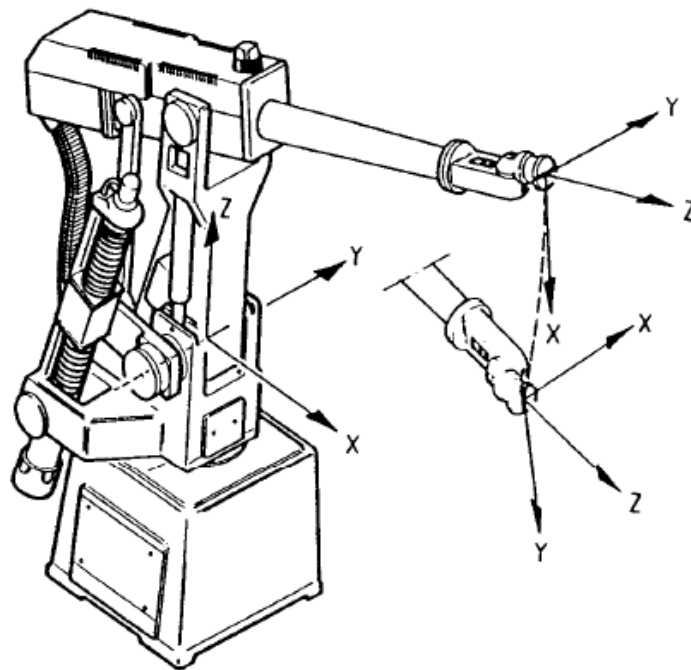
*Kuva 3. Portaalirobotti, jossa kolme ensimmäistä vapausastetta lineaarisia.*

Scara-robotin (Selective Compliance Assembly Robot Arm; tiettyyn suuntaan joustava kookoonpanorobottikäsivarsi) kolmella kiertyvällä nivelellä työkalu saadaan tasolla oikeaan kohtaan ja kiertymäkulmaan. Kuvasta 4 voidaan havaita, että Scara-robotti muistuttaa ihmisen vaakatasossa liikkuvaa käsivartta, mutta ranteeseen on asetettu pystyjohde.



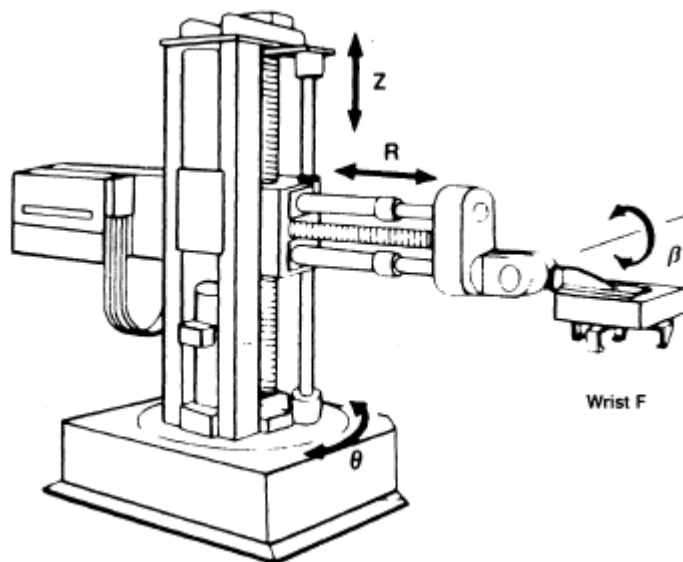
Kuva 4. Adept Technology Inc: n Scara- robotti.

Tavallisimmat teollisuusrobotit ovat kiertyvänivelisiä. Näiden robottien kaikki vapausasteet ovat kiertyviä (kuvat 2 ja 5).



*Kuva 5. Kiertyvänivelinen teollisuusrobotti.*

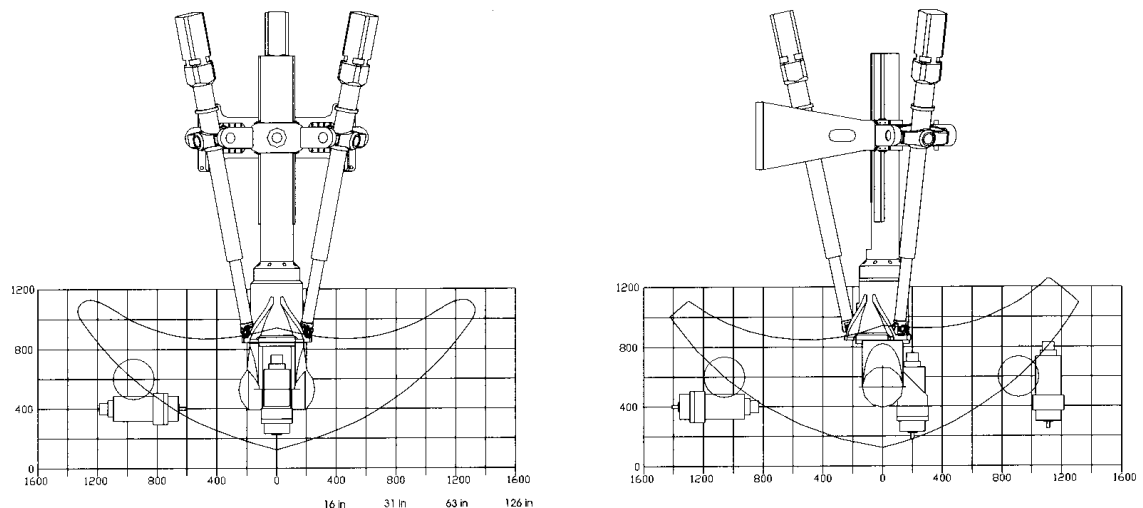
Sylinterirobotin nimitys on luonnollisesti peräisin sylinterikoordinaatistosta (kuva 6).



*Kuva 6. Perinteinen sylinterirobottirakenne.*

Niiden teollisuusrobottien mekaanista rakennetta, joissa tukivarsi on kytketty edellisen perään, sanotaan avoimeksi kinemaattiseksi rakenteeksi. Kevyempiin rakenteisiin päästään, jos tukivarsia kytketään rinnakkain. Sitä sanotaan suljetuksi kinemaattiseksi rakenteeksi, ja robottia kutsutaan rinnakkaisrakenteiseksi.

Kuvassa 7 on robotti, joka käyttää suljettua kinemaattista rakennetta. Sen nivelet ovat lineaarisia ja muuttavat kärjistään yhteisessä tukivarressa olevan kolmen kolmion sivujen pituuksia. Tällöin tämän kärjissä kiinni olevan tukivarren paikka ja asento muuttuu. Kärjessä voi olla kiinni tavallinen rakennennivel tai vaikka toinen vastaava kolmiorakenne.



*Kuva 7. Suljetun kinemaattisen rakenteen robotti (Neos Robotics).*

Suljetun kinemaattisen rakenteen ideana on jakaa tukivoimat toisiaan tukevien rakenteiden avulla, jolloin robotista tulee kestävä. Keveys ja mahdollisuus suuriin voimiin ovatkin rakenteen suurimmat edut. Suljetun kinemaattisen rakenteen robotit ovat yleistymässä työstötehtävissä, esimerkiksi karaa liikuttavina rakenteina.



### 3.3 Hitsausrobotit

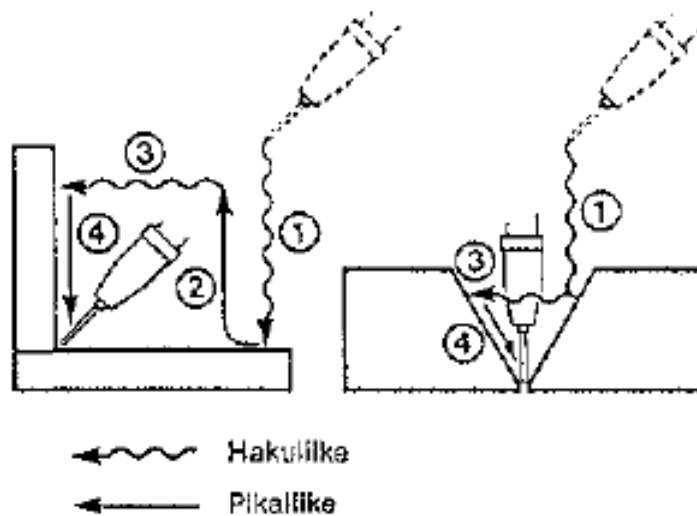
Hitsauksen robotisoinnit ovat metalliteollisuutemme yleisimpiä robottien käyttökohteita. Yleisimpiä hitsauksen robotisointisovelluksia ovat piste- ja kaasukaarihitsaus. Ensimmäiset kaasukaarihitsausrobotit otettiin käyttöön vuonna 1979.

Hitsauksen robotisoinnissa oheislaitteet ja hitsausparametrien säätö anturitietojen avulla ovat avainasemassa. Järjestelmän toimivuuden takaamiseksi on hitsaustekniikka ja –parametrit optimoitava. Hitsausvirran, -jännitteen ja kuljetusnopeuden ohjaamiseksi tarvitaan robotisoidussa hitsauksessa takaisinkytkentätietoa. Parametrien säätöön käytetään sekä virtalähteen ohjausta että paikoitusantureita. Oheislaitteina käytetään erilaisia kääntö- ja pyörityspöytiä. (Aaltonen & Torvinen 1997, 161.)

Robottihitsaukseen soveltuvat hitsausmenetelmistä MIG, MAG, TIG, laser, plasma, piste, kiekko sekä hybridimenetelmät. Yleisimmin käytössä ovat piste- ja kiekkohitsaus sekä MIG- ja MAG- hitsaus. Piste- ja kiekkohitsaus ovat autoteollisuudessa paljon käytettyjä menetelmiä. Robotit toimivat liukuhihnalla ja kiinnittävät valmiiksi leikattuja ja taivutettuja ohutlevyjä korin runkoon kiinni.

Hitsausrobotti tarvitsee teoriassa viisi vapausastetta, koska hitsauslangan kiertymäkulmalla itsensä ympäri ei ole merkitystä. Kuitenkin nykyään lähes kaikilla kiertyvänivelisillä roboteilla on kuusi vapausastetta, jotta vaihtoehtoisten mallien määrä olisi pieni ja robotti voitaisiin mahdollisesti varustaa hitsaussovelluksen jälkeen muuhun tehtävään. (Kuivanen 1999, 16.)

Hitsauksessa syntyvistä muodonmuutoksista ja osavalmistusepäätarkkuuksista syntyvien poikkeamien takia hitsausroboteille on kehitetty erilaisia apuvälineitä, joista yleisimmät ovat hitsauksen railonhaku ja -seuranta. Yleisin käytössä oleva hakutapa perustuu sähköiseen kontaktiin joko lisäainelangan kärjellä tai kaasuholkilla. Tämän periaate on esitetty kuvassa 8. Haku voidaan suorittaa myös optisesti omalla anturillaan. Toimiva haku vaatii puhtaat railonpinnat ja oikeaoppiset railonmuodon, esimerkiksi viisteettömään I- railoon hakua ei voida tehdä.



*Kuva 8. Railon haku lisäainelangalla.*

Haut suoritetaan ennen itse hitsauksen aloittamista. Railonhakurutiinien ansiosta robotti osaa paikoittaa polttimen oikeaan kohtaan hitsausrailoa. Riittävä hakujen käyttö on tärkeä osa toimivaa hitsausta, joten myös sen oikeaoppinen toteutus ja hyödyntäminen on huomioitava. Hitsausrailon hakeminen tuo hieman lisää aikaa itse robotin työkiertoaikaan, mutta sen avulla voidaan välttää hitsauspolttimen törmäykset, eksymiset heti aloitusvaiheessa ja se on myös käytännössä perusvaatimus toimivalle railon seurannalle. (Hiltunen & Purhonen 2008, 34.)

Railon seurannalla pyritään saamaan hitsauspoltin seuraamaan haluttua railoa, jotta hitsi saadaan haluttuun paikkaan. Railon seurannalla pystytään hyvin kompensoimaan työkappaleessa olevia poikkeamia, kuten valmistus- ja sovitusepätarkkuuksia tai hitsausmuodonmuutoksia. Tällä hetkellä yleisin tapa railon seurannassa on valokaaren läpi tapahtuva railon seuranta, joka perustuu hitsauspolttimen poikkeutukseen ja näin syntyvään hitsausvirran muutokseen. Kuten railon haku, myös tämänkaltaisen railon seuranta vaatii selkeät railon pinnat. Vaihtoehtona on optinen railon seuranta, jossa hitsausrailoa mitataan optisella anturilla hitsauskohdan edeltä. Tällä menetelmällä hitsausrailoista voidaan selvittää sen sijainnin lisäksi myös railon tilavuuden muutokset. Suurimpana haittana optisessa seurannassa on anturin suuri koko. Herkät anturikomponentit vaativat suojakoteloinnin ja hyvän jäähdytyksen polttimen lähellä. Hitsauspolttimen fyysinen koko rajoittaa sen mahtumista ahtaisiin kohteisiin rakenteissa.

Yhdeksi hitsauksen robotisoinnin eduksi voidaan mainita mahdollisuus käyttää suurempia hitsaustehoja (= parametreja) ja näin nostaa tuottavuutta. Laadun osalta liian suurten tehojen käyttö kriittisissä kohteissa voi tuoda kuitenkin pahimmillaan lisää virheitä. Kohteet, joissa käytetään ohuita viistettyjä levyjä ja osavalmistustarkkuuden muutosten kriittisyys on suuri, suuren lämmöntuonnin vaikutus on myös suurempi.

Yleisimmät hitsausvirheet robotisoidussa hitsauksessa ovat hitsin muotovirheet, reunahaavat sekä hitsin läpipalaminen. Lähes kaikki näistä voidaan välttää oikeaoppisella polttimeen suuntaamisella ja kuljettamisella. ( Hiltunen & Purhonen 2008, 35.)

### 3.4 Robottiin investoimisen syitä

Suomalaisen konepajateollisuuden piirissä tehdyn kyselyn perusteella robottien hankintaan vaikuttaneita syitä ovat:

- Tarve rationalisoida raskaita työtehtäviä ja kappaleensiirtoja
- Tarve parantaa tuotteiden laatua
- Halu siirtyä miehittämättömien tuotantojaksojen käyttöön
- Tarve saada omakohtaista tietoa robottien soveltuvuudesta omaan tuotantoon
- Robotisoinnit ovat keino opettaa uutta rationalisointitekniikkaa yrityksen henkilöstölle
- Turvallisuutta vaarantavien työtehtävien poistamisen tarve
- Halu nostaa yrityksen imagoa uuden teknologian soveltajana
- Pelko kilpailijoiden mahdollisesti saavuttamasta etumatkasta tuotantoteknologiassa
- Asiakkaan vaatimusten myötäileminen alihankintayrityksissä
- Tarve tuottavuuden ja kilpailukyvyn lisäämiseen
- Ammattitaitoisten työntekijöiden puute avainaloilla
- Mahdollisuus käyttää vähemmän koulutettuja työntekijöitä vaativissakin tuotantotehtävissä.
- Koneiden käyttösuhteen parantaminen

Raskaiden työtehtävien rationalisointi ja eliminointi on yksi tärkeimmistä robotisointien perusteista. Monissa yrityksissä terveydelle vaaralliset työt ja työvaiheet, jotka esimerkiksi aiheuttavat nivelvaurioita rasitusvammoina on pakko automatisoida. Robotit sopivat erinomaisesti kuluttavan käsityön korvaajiksi. Työ voi olla kuormittavaa myös yksitoikkoisuutensa johdosta, jolloin robotisointi on sopiva investointi. Näin vapautetaan työntekijät rutiinitöistä vaativampiin työtehtäviin.

Tuotteiden laatu on tulevaisuudessa tärkeimpiä kilpailutekijöitä. Robotisointi varmistaa tuotteiden tasalaatuisuuden, kun työhön vaikuttavat inhimilliset tekijät, kuten väsymys, voidaan välttää. Esimerkkinä tasalaatuisista robotilla valmistetuista tuotteista ovat hitsatut rakenteet.

Kalliit tuotantoinvestoinnit edellyttävät joissain tapauksissa koneiden käyttöä myös taukojen aikana sekä iltaisin, öisin ja viikonloppuisin. Miehittämättömien tuotantojaksojen käyttö on ollut monessa yrityksessä robotisointi-investoinnin tavoite. Joustavilla oheislaitteilla voidaan robotin käyttöjaksot ulottaa miehittämättömiin vuoroihin ja viikonlopputyöhön. Miehittämätön käyttö edellyttää robotin valvontaa anturein, jotta virhetilanteissa järjestelmä pysäytetään ajoissa ilman, että on vaaraa tuotantolaitteiston rikkoutumisesta. Robottijärjestelmän käyttöä voidaan myös valvoa etätyöpisteestä videokameralla.

Robottiikasta ja robotti- investoinneista on saatavilla runsaasti käsi- ja oppikirjatietoutta. Todellista osaamista ja käyttökokemuksia robotti- investoinnista saadaan ainoastaan toteuttamalla pilottihanke omassa yrityksessä. Automatisointi- investointien onnistunut läpivienti ja tehokas sekä tuottava käyttö edellyttävät yrityksessä laajamittaista koulutusta, asenteiden muutosta ja kasvamista. Suppea ja riskiltään vähäinen robotisointi on hyvä keino parantaa yrityksen automatisointiosaamista ja hankkia arvokasta ensikäden tietoa automaatiohankkeen suunnittelusta ja toteutuksesta. Robotti-investoinnin ongelmat ja hankaluudet koulivat henkilöstöä toimimaan ryhmänä ja mahdollistavat tulevien laajojen automatisointihankkeiden riskien ja ongelmien selkeän kartoittamisen.

Yrityksen imago tuotantoautomaation soveltajana on tärkeää yrityksen eri sidos- ja intressiryhmille. Asiakkaat saavat robotteja käyttävästä yrityksestä dynaamisen ja modernin kuvan, mikä heijastuu heidän tuntemuksiinsa yrityksen tuotteista. Yrityksen omalle henkilöstölle uusien tuotantoteknisten virtausten mukana pysyminen lisää työpaikan arvostusta. Uusia henkilöitä alalle ja yritykseen rekrytoitaessa modernit robottijärjestelmät houkuttavat alalle ja yritykseen uudesta teknologiasta kiinnostuneita työntekijöitä.

Kyselyssä paljastui robottihankkeiden taustalta myös pelko robotteja hyödyntävien kilpailijoiden mahdollisesti saavuttamasta teknologiaetumatkasta. Pelko ei tosin ollut näissä yrityksissä ainoa robotti-investoinnin syy, mutta se oli selvästi robotin käyttöönottoa nopeuttanut tekijä. Eräässä alihankintayrityksessä robotisointiin oli pakottanut pääyrityksen tiukkojen laatuvaatimusten edellyttämä robottihitsaus. Päämies ei hitsien ulkonäköseikkojen vuoksi hyväksynyt käsin hitsattuja komponentteja.

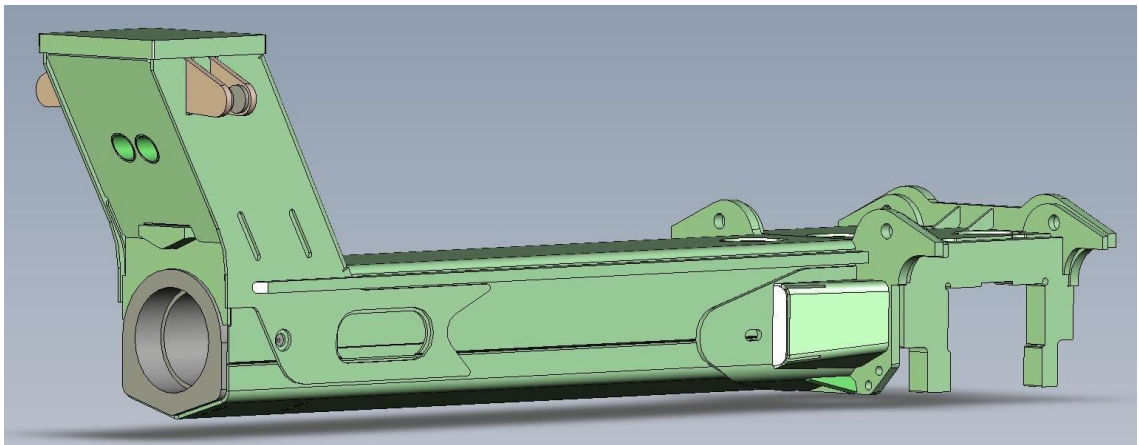
Ammattitaitoisen työvoiman saatavuus on osoittautunut metalliteollisuuden yrityksissä ongelmaksi. Vaihetöiden automatisoinnille ja robotisoinnille ei näin ollen ole ollut vaihtoehtoja. Tavoitteena on siirtää henkilöstö vaihetöistä vaativampiin työtehtäviin ja toisaalta taata mahdollisuus myös kouluttamattoman henkilöstön käyttöön yhdessä robottien kanssa vaativissa ja kokemusta edellyttävissä ammattitöissä kuten kaarihitsauksessa.

Lähes kaikissa kyselyyn osallistuneissa yrityksissä robotisoinnin tärkeimpänä tavoitteena nähtiin tuottavuuden ja sitä kautta yrityksen kilpailukykyyn parantaminen. Robotisoinnilla tavoiteltiin koneiden käyttösuhteen lisäämistä ja miehittämättömien käyttöjaksojen osuuden kasvattamista. Robotisointi nähtiin kannattavana rationalisointi-investointina, jonka avulla tuotantokustannukset pyrittiin pitämään kilpailukykyisinä ulkomaisiin halpatuottajiin nähden. Tuotto-odotukset robotti-investointien kohdalla ovat olleet maltillisempia kuin perinteisten tuotantolaitteiden kohdalla. Robottihanke koettiin yrityksissä strategiseksi panostukseksi tulevaisuuden moderniin tuotantotekniikkaan. (Aaltonen, Torvinen 1997, 150.)

## 4 METSÄKONEEN TAKARUNGON HITSAAMINEN

### 4.1 Takarungon hitsaaminen käsin

Kyseisen takarungon hitsaaminen käsin on melko työläs ja aikaa vievä prosessi. Kokoonpannun rungon rakenne voidaan nähdä kuvassa 9. Kappaleen suuri koko, pitkät hitsit suurehkoine a-mittoineen ja lukuisat liitettävät osat tuottavat hitsaajalle töitä useiksi tunneiksi. Rungon kotelomainen rakenne ja siitä johtuva huono luoksepäästävyys, joidenkin hitsien kohdalla, hankaloittavat hitsaajan työtä entisestään. Hitsaustyön helpottamiseksi on runko päätetty jakaa erillään kokoonpantaviin ja hitsattaviin osiin. Työläimmät ja eniten hitsausta vaativat osat ovat telin kiinnitys (LIITE 1) ja pilari. (LIITE 2).



*Kuva 9. Metsäkoneen takarunko.*

Kun telin kiinnitys ja pilari on hitsattu valmiiksi, rungon kokoonpano voidaan aloittaa. Kokoonpanossa runkoon liitetään osat, jotka mahdollistavat rungon siirtämisen pyörittäjään lopullista hitsausta varten. Tarvittavan vahvuuden saavuttamiseksi on joitain hitsejä hitsattava osittain jo tässä vaiheessa. Kaikki sellaiset osat, jotka jäävät rungon sisälle, hitsataan ennen rungon kiinnittämistä pyörittäjään.

Varsinaisen hitsaustyön ohessa on myös kiinnitettävä lisää osia runkoon. Näiden osien kiinnitys ei ole aikaisemmassa vaiheessa ollut mahdollista niiden alle jäävien hitsien takia. Näitä osia ovat: telin kiinnityksen vahvistukset, sylinterin korvat ja tukikonsolit (LIITE 3). Viimeisenä runkoon liitetään pankkakiskot, jotka hitsataan käyttäen hyväksi jauhekaarihitsaustornia. Mekanisoidun jauhekaarihitsauksen etuna tässä tapauksessa, paremman hitsiaineen tuoton lisäksi, on tasainen kuljetusnopeus. Tämän ansiosta lämmöntuonti hitsattavaan kappaleeseen on tasaisempi eli lämmöstä aiheutuneet muodonmuutokset ovat pienempiä.

#### 4.1.1 Käsien hitsaamiseen käytettävä aika ja lisääinemäärät

Jotta robottihitsaussoluun investoimisen kannattavuutta voitaisiin tarkastella, on ensin selvitettävä nykyisin hitsausmenetelmin kuluvat työtunnit. Näin saadaan luotua vertailuarvot, joihin robottihitsauksen simuloinnista saatuja tuloksia voidaan verrata.

Vaikka hitsattava tuote, hitsauslaitteet ja työympäristö ovat kaikille yrityksen hitsareille samat, hitsaukseen käytettävä aika kuitenkin vaihtelee. Monet inhimilliset ja ihmisestä riippumattomatkin tekijät ovat päivittäin vaikuttamassa läpimenoaikoihin. Tästä johtuen takarungon hitsaamiseen kuluvalle ajalle laskettiin teoreettinen arvo. Tuloksia verrattiin myös toteutuneisiin työtunteihin.

Laskenta aloitettiin selvittämällä hitsien pituudet sekä a- mitat käyttäen hyväksi työpiirustuksia (LIITTEET 1, 2 ja 3) ja valmiiksi hitsattuja runkoja. Seuraavaksi selvitettiin hitausasento ja railomuoto. Näitä em. tietoja käyttäen saatiin selvitettyä taulukoista 2, 3 ja 4 hitsien painot metriä kohden. Viimeinen laskentaan tarvittava arvo eli hitsiaineen tuotto tuntia kohden, saadaan taulukosta 5. Näillä em. arvoilla saadaan laskettua hitsaamiseen kuluva aika kaavalla:  $\text{Hitsin paino [kg/m]} \times \text{Hitsin pituus [m]} / \text{Hitsiaineen tuotto [kg/h]}$

Hitsaamisessa käytettävän lisäaineen määrä saadaan laskettua kun tiedossa on hitsausaika sekä taulukosta 5 löytyvä langansyöttönopeus:





$$\text{Hitsausaika [min]} * \text{Langan syöttönopeus [m/min]} = \text{Käytetty lisäaine [m]}$$

Käytetyn lisäaineen painon laskemiseksi on tiedettävä lisäainelangan paino metriä kohden. Kyseisessä tapauksessa hitsauslisäaineena oli käytössä (lisäaineen tuotemerkki poistettu), jonka paksuus on 1,2 mm ja paino 8,8 g/m. Lisäaineen paino saadaan laskemalla: Käytetty lisäaine [m]\*Lisäaineen paino [g/m]= Hitsiin käytetyn lisäaineen paino [g]

Viimeiset liitettävät osat ovat pankkakiskot. Nämä liitetään runkoon käyttäen jauhekaarihitsausta. Tässä tapauksessa hitsauspään kuljetus tapahtuu mekanisoidusti, eli hitsausnopeus on aina tasainen. Kun tarkka hitsausnopeus on tiedossa, hitsaamiseen kuluva aika saadaan jakamalla hitsin pituus hitsausnopeudella. Hitsausaikojen laskemiseen tarvittavat mitat ja arvot löytyvät taulukoituina liitteestä 4.

*Taulukko 2. Pienahitsien hitsiainemäärätaulukko [Esab 1998].*

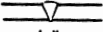
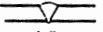
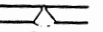
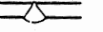

#### Pienahitsit

a-mitta	Hitsin teor. poikkipinta								
		Jalkapiena	Alapiena	Vaakapiena	Yläpiena				
mm	mm <sup>2</sup>	cm <sup>3</sup>	kg/m	cm <sup>3</sup> /m	kg/m	cm <sup>3</sup> /m	kg/m	cm <sup>3</sup> /m	kg/m
2	4	5	0,04	6	0,05	5,5	0,04	5,5	0,04
2,5	6,5	7,5	0,06	8	0,06	8,5	0,07		
3	9	10,5	0,08	12,5	0,10	11	0,09	12	0,09
3,5	12,5	14	0,11	16	0,13	15	0,12	16,5	0,13
4	16	18	0,14	21	0,16	19,5	0,15	22	0,17
4,5	20,5	22,5	0,18	26	0,20	24,5	0,19	26,5	0,21
5	25	27,5	0,22	31,5	0,25	30,5	0,24	33	0,26
5,5	30,5	33,5	0,26	37	0,29	36	0,28	40,5	0,32
6	36	40	0,31	42	0,33	43	0,34	47,5	0,37
6,5	42,5	46,5	0,37	49,5	0,39	51	0,40	56	0,44
7	49	54,5	0,43	57	0,45	56	0,44	65	0,51
7,5	56,6	60,5	0,47	65	0,51	64	0,50	73,5	0,58
8	64	70	0,55	73,5	0,58	76,5	0,60	82,5	0,65
9	81	88	0,69	95	0,47	95	0,75	109	0,86
10	100	108	0,85	114	0,89	116	0,91	130	1,02
11	121	131	1,03	138	1,08	143	1,12	157	1,23
12	144	155	1,22	162	1,27	169	1,33	188	1,48
13	169	179	1,41	190	1,49	195	1,53	220	1,73
14	196	207	1,62	224	1,76	227	1,78	257	2,02
15	225	237	1,86	248	1,95	264	2,07	294	2,31



Taulukko 3. V- hitsien hitsiainemäärätaulukko [Esab 1998].






## V-hitsi

Ai- neen pak- suus mm	Ilma- rako mm	50°			60°			70°			80°			60° Vaaka		
																
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
4	1	11,5	11	0,09	13	12,5	0,10	15	16,5	0,13	17,5	18	0,14	13	14,5	0,11
5	1	16,5	16	0,13	19,5	19	0,15	22,5	24,5	0,19	26	28	0,22	19,5	21	0,16
6	1	23	21,5	0,17	27	25,5	0,20	31	37	0,29	36	38,5	0,30	27	30	0,24
7	1,5	33,5	32,5	0,26	39	38	0,30	45	49	0,38	51,5	56	0,44	39	42	0,33
8	1,5	42	40	0,31	49	46,5	0,37	57	59,5	0,47	65,5	70	0,55	49	56	0,44
9	1,5	51	48	0,38	60,5	56	0,44	70	75,5	0,59	81,5	87,5	0,69	60,5	65	0,51
10	2	66,5	62	0,49	77,5	72	0,57	90	96,5	0,76	104	109	0,86	77,5	81	0,64
11	2	78,5	71,5	0,56	92	83,5	0,66	107	113	0,89	124	130	1,02	92	96,5	0,76
12	2	91	83	0,65	107	97,5	0,77	125	134	1,05	145	157	1,23	107	113	0,89
14	2	120	110	0,86	141	130	1,02	165	171	1,34	193	204	1,60	141	149	1,17
15	2	135	123	0,97	160	146	1,15	188	197	1,55	219	231	1,81	160	171	1,34
16	2	151	132	1,04	180	157	1,23	211	223	1,75	247	257	2,02	180	186	1,46
18	2	189	170	1,33	223	204	1,60	263	276	2,17	308	320	2,51	223	233	1,83
20	2	227	208	1,63	271	247	1,94	320	334	2,62	376	396	3,11	271	281	2,21
25	2	341	313	2,46	411	375	2,94	488	510	4,00	577	606	4,76	411	425	3,34




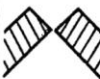
- 1 Teoreettinen hitsin tilavuus cm<sup>3</sup>/m  
 2 Todellinen hitsin tilavuus (otettu huomioon poikittaiskutistuminen) cm<sup>3</sup>/m  
 3 Hitsiainemäärä kg/m

Taulukko 4. I- hitsien hitsiainemäärätaulukko [Esab].

## I-hitsit

Hitsaus- asento	Aineen- paksuus mm	Ilmarako mm	Hitsin tilavuus cm <sup>3</sup> /m	Hitsiaine- määrä kg/m
 Jalko	1	0	2	0,02
	1,5	0,5	3	0,02
	2	1	4	0,03
	3	1,5	7	0,05
 Jalko	4	2	17	0,13
	5	2	21	0,16
	6	2,5	27	0,21
	7	3	36	0,28
 Vaaka	1	0	2,5	0,02
	1,5	0,5	4	0,03
	2	1	5	0,04
	3	1,5	9,5	0,07
 Vaaka	4	2	22	0,17
	5	2,5	25	0,20
	6	3	32	0,25
	7	3	42	0,33
 Laki	4	2	9	0,07
	5	2	10,5	0,08
	6	2,5	13	0,10
	7	3	16	0,13
	4	2	10,5	0,08
	5	2	16	0,13
	6	2,5	18	0,14
	7	3	21	0,16

Taulukko 5. Hitsausohjeet [Esab].

Railo- muoto	Levyn paksuus mm	Ilma- rako mm	Lanka- määrä kg/m	Langan- halk. mm	Tuotto kg/h	Langan- syöttö m/min	Hitsaus- virta A	Hitsaus- nopeus cm/min
	1	0	0,02	0,6	1,0	7,0	60	83
	1,5	0,5	0,02	0,8	1,2	6,0	90	80
	2	1,0	0,03	0,8	1,5	6,8	110	83
	3	2,0	0,06	0,8	1,8	8,0	125	55
	3	2,0	0,06	1,0	2,1	6,0	150	63
	4	1	0,09	1,0/-	2,2/-	6,4/-	160/-	40/-
	5	1	0,09	1,0/-	2,2/-	6,4/-	160/-	28/-
	6	1,5	0,17	1,0/1,0	2,1/2,9	6,8/8,5	150/200	60/43
	8	1,5	0,30	1,0/1,2	2,1/3,9	6,0/7,6	150/260	43/28
	10	2	0,50	1,0/1,2	2,1/5,1	6,0/10,0	150/320	35/21
	a-mitta							
	2		0,05	0,6	1,2	8,4	70	40
	2		0,05	0,8	1,6	6,8	110	53
	3		0,10	0,8	1,9	8,3	130	32
	3		0,10	1,0	2,4	7,0	170	40
	4		0,16	1,0	2,7	8,2	190	28
	5		0,25	1,2	3,9	7,8	260	26
		2 tai useampia palkoja						
	6		0,33	1,2	3,9	7,8	260	20
	6		0,33	1,2	4,8	9,5	300	22
	8		0,58	1,2	4,8	9,5	300	14
	1,5		0,02	0,6	1,0	7,0	60	83
	2		0,03	0,8	1,6	6,8	110	80
	3		0,05	0,8	1,9	8,2	130	63
	4		0,07	0,8	2,0	9,0	140	48
	4		0,07	1,0	2,6	7,5	180	62
	5		0,10	1,0	2,6	7,5	180	43
	6		0,15	1,2	3,5	7,0	240	38
		2 tai useampia palkoja						
	8		0,26	1,2	3,7	7,5	250	30
	10		0,40	1,2	5,0	10,0	320	20
	12		0,58	1,2	5,0	10,0	320	18

#### 4.2 Takarungon hitsaaminen robotisoidusti

Kun tuotteen valmistuksessa suunnitellaan hitsauksen robotisointia, ei kaikkia asioita kannata välttämättä aloittaa puhtaalta pöydältä. Varsinkaan jos tuotteen hitsaamisesta käsin on paljon kokemusta ja hitsaaminen sujuu mutkattomasti. Aikaisemman tietämyksen hyväksikäyttäminen ja soveltaminen voi helpottaa robottihitsauksen suunnittelua ja säästää monilta ongelmilta.

Kyseisen takarungon hitsausjärjestyksen ja – menetelmien hiomiseen on kulunut hitsaamisen ammattilaisilta lukemattomia työtunteja. Tällä kehitystyöllä on saatu vähennettyä hitsaamisesta aiheutuneita haittoja kuten hitsausmuodonmuutoksia.

Robotille tarkoitetun hitsausjärjestyksen suunnittelussa ei siis lähdetty alkutekijöistä, vaan käytettiin olemassa olevaa tietoa ja osaamista hyväksi. Yhteistyössä Mesekon OY:n hitsareiden kanssa saatiin laadittua robotille hitsausjärjestys, joka ottaa hitsattavan tuotteen vaatimukset huomioon. Tätä järjestystä käytettiin myöhemmin myös hitsauksen simuloinnissa.

Seuraavassa käydään läpi edellä mainittu hitsausjärjestys. Tässä työssä on perehdytty ainoastaan runko- osan robottihitsaukseen. Teli- ja pilariosan robottihitsausta ei seuraavassa siis tarkastella.

#### 4.3 Hitsausjärjestys robotilla

Ennen kuin robotti voi aloittaa takarungon hitsauksen, on osa hitseistä tehtävä käsin. Käsin hitsattavia ovat ne hitsit, jotka jäävät rungon sisään, sivulevyjen, etummaisen pystylevyn, tukikonsolien tai telikiinnityksen vahvistuslevyjen alle. Näillä hitseillä saadaan runko kiinnitettyä tukevasti telikiinnitykseen ja pilariin, jotta kappale voidaan asentaa pyörittäjään robottihitsausta varten. Seuraavassa luetellut hitsit löytyvät numeroituina liitteestä 6. Myös pilarin (LIITE 7) ja telinkiinnityksen (LIITE 8) hitsit on numeroitu samalla tavalla.

Robottihitsausta edeltävät käsin hitsattavat hitsit ovat.

- Hitsit no. 24 ja 27. Nämä hitsataan ensimmäisinä.
- No. 6: Pilari hitsataan sisältä pohja- ja kansilevyyn.
- No. 22. Hitsataan rungon sisälle telikiinnityksen ja rungon väliin.
- No. 23. Nämä hitsit jäävät sivulevyjen ja telikiinnityksen vahvistuslevyjen alle.
- No. 25 Hitsataan rungon sisälle telikiinnityksen ja rungon väliin.
- No. 26: Hitsataan tukikonsolien alle telikiinnityksen vahvistuslevyihin.
- No. 28: Nämä hitsit tulevat tukikonsolien sisäpuolelle.
- No. 29: Hitsataan takapäähän rungon sisäpuolelle, kansi- ja pohjalevyn väliin.
- No. 30 ja 32. Täytetään ja hiotaan.

Em. työvaiheiden jälkeen runko siirretään pyörittämään jossa robotti jatkaa rungon hitsaamista. Ensin hitsataan hitsit jotka vaativat esilämmitystä. Nämä hitsataan seuraavassa järjestyksessä.

- No. 1.
- No. 2.
- No. 33.
- No. 5.
- No. 11.

Seuraavaksi robotti jatkaa hitseihin jotka eivät vaadi esilämmitystä. Ensimmäisenä hitsataan etummainen pystylevy:

- No. 4 (toinen sivu)
- No. 3 (alareuna)
- No. 4 hitsataan loppuun
- No 3 hitsataan loppuun
- No. 36. Kansi- ja pohjalevy hitsataan yhteen molemmilta puolilta lämmöntuonnista johtuvien muodonmuutosten ehkäisemiseksi.
- No. 10. Ensin hitsataan sivulevyn takimmainen kaari, sitten alempi sauma etupäästä taaksepäin (no.35), seuraavaksi hitsataan ylempi suora sauma.
- No. 7. Tässä on kaksi hitsattavaa reikää.

- No. 8 ja 9.
- Kolme edellistä vaihetta toistetaan rungon toiselle puolelle.
- No. 13
- No. 12

Seuraavaksi hitsataan telikiinnityksen vahvistus (osanumero 9, 10), vahvikkeet (17) ja tukikonsoli (18).

- No. 21. Reikä hitsataan ensin, sitten levy ylhäältä pohjaan, jonka jälkeen hitsataan vahvike.
- Edellinen vaihe toistetaan toisella puolella.
- No. 20. Tukikonsolin hitsaaminen.
- Ym. vaihe toistetaan ja hitsataan toinen tukikonsoli.

Kun robotti on hitsannut telikiinnityksen vahvistukset, levyseppä kiinnittää pankkakiskot (osanumero 8) hitsaamalla. Tämän jälkeen robotti jatkaa hitsaamista seuraavassa järjestyksessä.

- No. 15 hitsataan ylä- ja alapuolelta.
- No. 17 hitsataan myös ylä- ja alapuolelta.
- Toinen pankkakisko hitsataan samassa järjestyksessä.

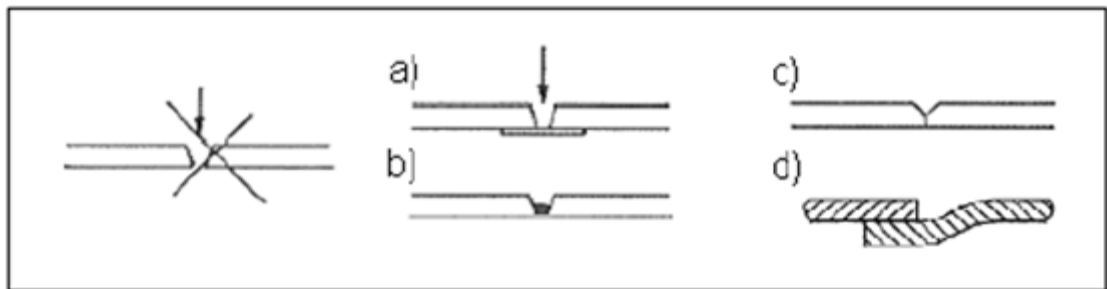
Robotin saatua viimeiset hitsit päätökseen on hitsattava vielä käsin seuraavat hitsit.

- No. 14: kotelon kiinnikkeet (osanumero 22)
- No. 40: sylinterin korvat (osanumero 15)
- No. 16: rajoittimet (osanumero 23)
- No. 31. Hiotaan hitsaamisen jälkeen tasaiseksi.
- Lopuksi operaattori tarkistaa hitsit ja korjaa vaadittaessa hitsausvirheet.(Uutela, Haste & Niskanen 24.10.2008.)

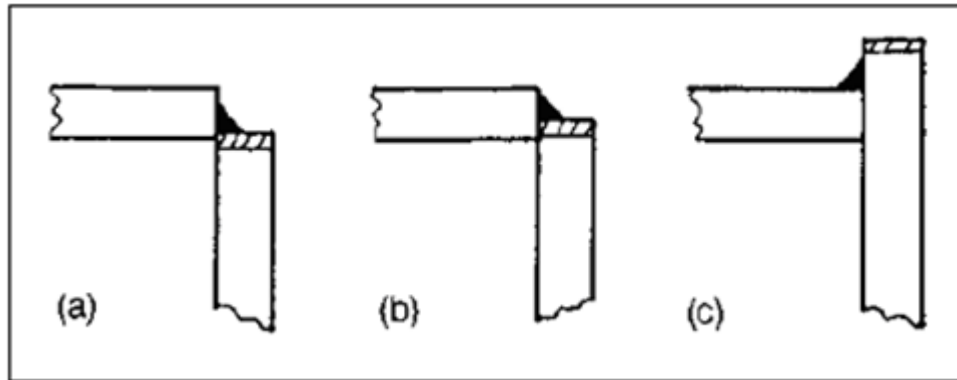
#### 4.4 Robottihitsattavan tuotteen suunnittelu

Robottihitsattava tuote luo omat vaatimuksensa niin suunnittelu, kuin valmistuspuolellekin. Suunniteltaessa tuotteen rakennetta ja hitsattavia liitoksia, on suunnittelijan pidettävä mielessä niin robottihitsauksen tuomat mahdollisuudet kuin rajoitteetkin. Seuraavassa on mainittu joitakin seikkoja joita tulisi ottaa huomioon robottihitsattavaa tuotetta suunniteltaessa.

Hitsausrobotin ohjelmoinnin ja operoinnin helpottamiseksi tulisi välttää päittäis- ja nurkkaliitoksia ja käyttää pienahitsejä. Pienahitsit soveltuvat robottihitsaukseen paremmin mm. railonhaun ja – seurannan kannalta. Päittäisliitoksissa on myös suurempi vaara hitsin läpipalamiselle. Jos rakenteellisista syistä on kuitenkin käytettävä päittäisliitoksia, läpipalamista voidaan yrittää ehkäistä kuvassa 10 esitetyllä tavalla. Kuvassa 11 on taas esimerkki nurkkaliitoksen robottihitsattavuuden parantamisesta. Suunnittelijan on myös pienahitsiä mitoittaessaan varattava hitsin kateetille tarpeeksi tilaa. Robottihitsattavaa tuotetta suunniteltaessa kannattaa myös miettiä pienalle edullisin asento. Oikein asennoidut hitsit voivat vähentää kappaleen kääntelyn tarvetta.

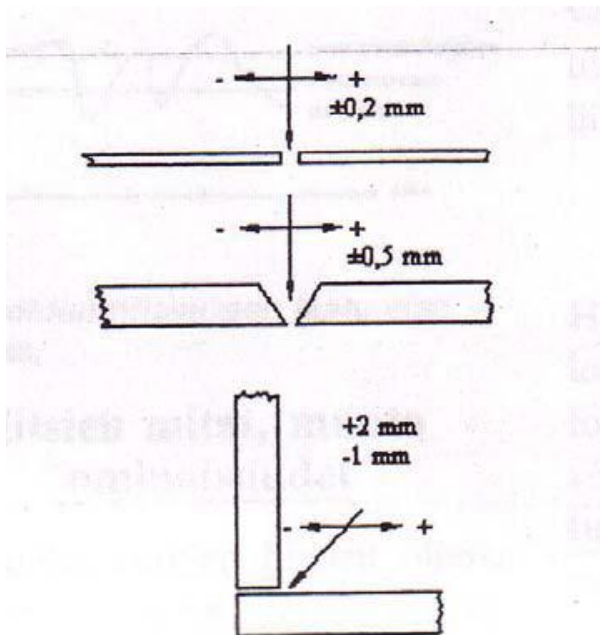


Kuva 10. Päittäisliitoksen hallitseminen: a) juurituki b) käsinpohjaus c) juuripinta osaviisteellä d) juuripinta muotoilemalla.



Kuva 11. Nurkkaliitoksen robottihitsattavuuden parantaminen  $a = \text{huono}$ ,  $c = \text{hyvä}$ .

Robottihitsattavan tuotteen railotoleranssit ovat pienemmät kuin käsin hitsattaessa. Siispä hitsattavien osien valmistustarkkuuden on oltava hyvä, sillä mittavaihtelut kasaantuvat hitsausrailoon. Sallitut mittavirheet eri railomuodoilla voidaan nähdä kuvasta 12. Riittävä osavalmistustarkkuus saavutetaan esim. käyttämällä muoto-osien leikkaamisessa laseria tai plasmata. Vaativissa tapauksissa voidaan tarvittaessa käyttää koneistettuja railoja.

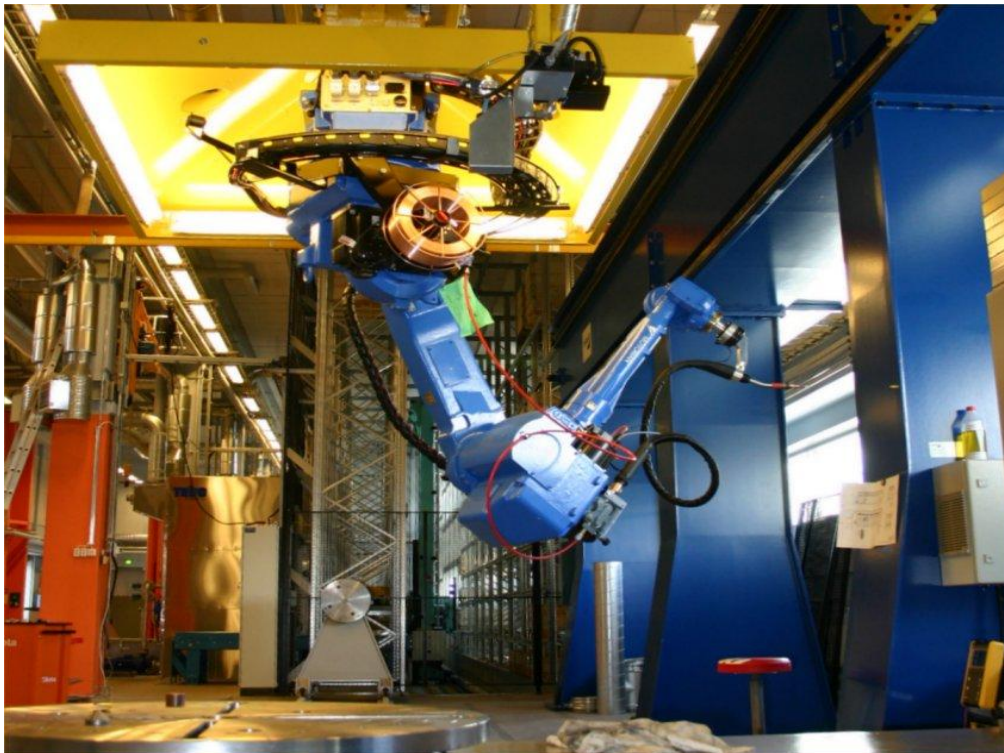


Kuva 12. Railotoleranssien suuruusluokka.

## 5 ROBOTTIHITSAUKSEN SIMULOINTI

Robottien mallipohjainen ohjelmointi (off-line) tarkoittaa robotin ohjelmointia ilman tuotantorobottia, tuotannon ulkopuolisessa tietokoneessa käyttäen 3D graafista käyttöliittymää ja robotin ja sen oheislaitteiden simulointimalleja sekä hyödyntäen valmistettavan tuotteen suunnittelun 3D-muototietoa (Teknillinen Korkeakoulu 2008 [viitattu 21.2.2009]).

Metsäkoneen takarungon hitsausta simuloitiin Igrip- ohjelmalla. Tässä käytettiin hyväksi Turun Koneteknologiakeskuksen robottisolun 3D- mallia. Myös takarungosta oli saatavilla valmistajan toimittama valmis 3D- mallinne. Simuloinnilla pystyttiin varmistamaan etteivät hitsauksen aikana robotti ja hitsattava kappale törmää toisiinsa. Samalla voitiin myös tarkastella hitsausrobotin ulottuvuutta sekä hitsausasentoja. Kuvassa 13 on simuloinnissa käytetty portaalinrakenteinen robottihitsaussolu. Hitsausrobotina on Motomanin UP50N teollisuusrobotti.



*Kuva 13. Koneteknologiakeskuksen robottiasema.*



Kyseisessä työssä ei simuloinnin tarkoituksena ollut pelkästään törmäystarkasteluiden tekeminen. Simuloinnin avulla saatiin myös selvitettyä rungon hitsaamiseen kuluva aika. Tätä tietoa taas tarvitaan investointilaskelmissa, kun tarkastellaan robottihitsausasemaan investoimisen kannattavuutta.

Takarungon simuloinnista saatuja hitsausaikoja (Hitsausajat poistettu):

Takarungon hitsaamisaika =  $x \text{ min}$

Railon haut:  $10 \text{ s/hitsi} * 27 \text{ hitsiä} = 4,5 \text{ min}$

Langan katkaisut:  $15 \text{ s/hitsi} * 27 \text{ hitsiä} = 7 \text{ min}$

Hitsaussuuttimen puhdistaminen:  $25 \text{ s/kerta} * 14 \text{ kertaa} = 6 \text{ min}$

Yhteenlaskettu hitsausaika =  $x \text{ min} = x \text{ h}$

Telinkiinnityksen ja pilarin simulointiin ei tässä työssä erikseen perehdytty. Näiden hitsaamiseen kuluva aika voidaan kuitenkin laskea likimääräisesti käyttäen hyväksi edellä mainittuja aikoja. Takarungon hitsauksessa käytettyjä hitsausparametreja, kuten polttimen kuljetusnopeutta voidaan myös soveltaa laskennassa. Esimerkiksi rungon hitsauksessa polttimen kuljetusnopeus oli 8mm/s hitsin a- mitan ollessa 5. Hitsin a- mitan noustessa 7:ään, laskee kuljetusnopeus 5 millimetriin sekunnissa. (Huttunen 30.1.2009)

Edellä mainittuja arvoja käyttäen, pilarin hitsausaika saadaan laskettua seuraavasti:

$$\text{Hitsausnopeus}[cm/min] = 1,67 \frac{\text{Hitsiaineentuotto}[kg/h]}{\text{Hitsiainemäärä}[kg/m]}$$

Kun kaikki muut arvot ovat tiedossa hitsiaineen tuottoa lukuun ottamatta, johdetaan kaava muotoon:

$$\begin{aligned} \text{Hitsiaineen\_tuotto}[kg/h] &= \frac{\text{Hitsausnopeus}[cm/min] * \text{Hitsiainemäärä}[kg/m]}{1,67} = \\ &= \frac{\frac{8mm}{s} * 60 * 0,31kg/m}{1,67} = 8,9kg/h \end{aligned}$$

Pilarin hitsien yhteispaino on tiedossa (LIITE 4), siispä valokaaren palamisaika saadaan laskettua seuraavasti:

$$\text{Valokaariaika} = \frac{\text{Hitsien\_paino}[kg]}{\text{Hitsiaineen\_tuotto}[kg/h]} = x \text{ min}$$

Hitsausajan laskemiseksi, edelliseen lisätään vielä railonhakuun, langan katkaisuun ja suuttimen puhdistamiseen kuluva aika:

Suuttimen puhdistukset:  $4 \cdot 25s = 100s = 1,67\text{min}$

Langan katkaisut:  $8 \cdot 15s = 120s = 2\text{min}$

Railon haut:  $8 \cdot 10s = 80s = 1,33\text{min}$

Kun yllä mainitut lasketaan yhteen, pilarin hitsausajaksi saadaan:  $x \text{ min} + 1,67 \text{ min} + 2 \text{ min} + 1,33 \text{ min} = x \text{ min}$

Telinkiinnityksen hitsaamiseen kuluva aika lasketaan samalla tavalla. Telinkiinnityksen hitsien paino (LIITE 4) ja hitsiaineen tuotto ovat tiedossa, siispä voidaan laskea:

$$\text{Valokaariaika} = \frac{\text{Hitsien\_paino}[kg]}{\text{Hitsiaineen\_tuotto}[kg/h]} = x \text{ min}$$

Hitsausajan laskemiseksi, edelliseen lisätään vielä railonhakuun, langan katkaisuun ja suuttimen puhdistamiseen kuluva aika:

Suuttimen puhdistukset:  $5 \cdot 25s = 125s = 2,08\text{min}$

Langan katkaisut:  $9 \cdot 15s = 135s = 2,25\text{min}$

Railon haut:  $9 \cdot 10s = 90s = 1,50\text{min}$

Kun yllä mainitut lasketaan yhteen, pilarin hitsausajaksi saadaan:  $x \text{ min} + 2,08 \text{ min} + 2,25 \text{ min} + 1,50 \text{ min} = x \text{ min}$

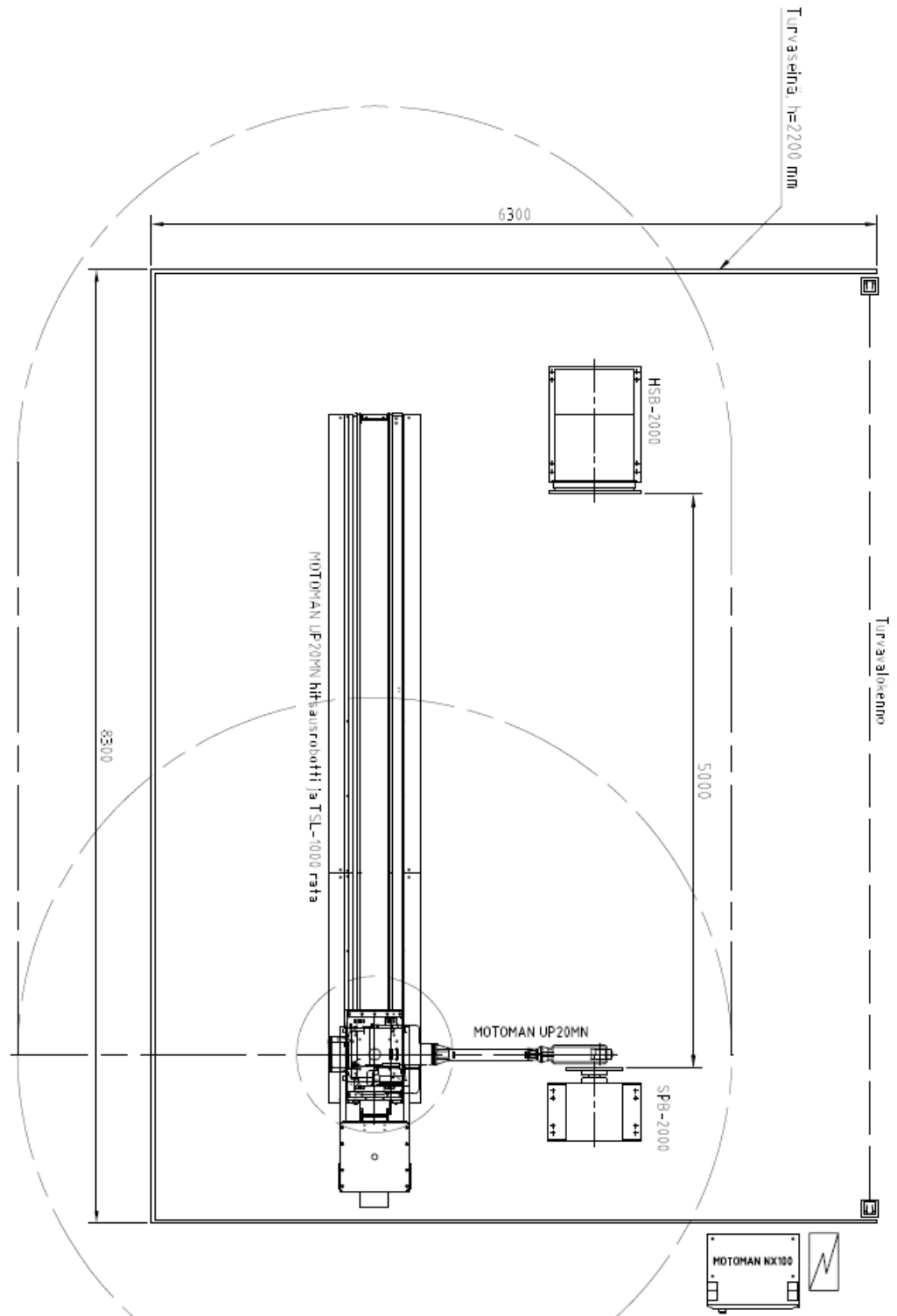
Rungon, telinkiinnityksen ja pilarin hitsausajat yhteen laskemalla saadaan koko takarungon hitsaamiseen kuluva aika.:  $x \text{ min}$ .

## 6 ROBOTTIHITSAUSASEMAN TARJOUSPYYNTÖ

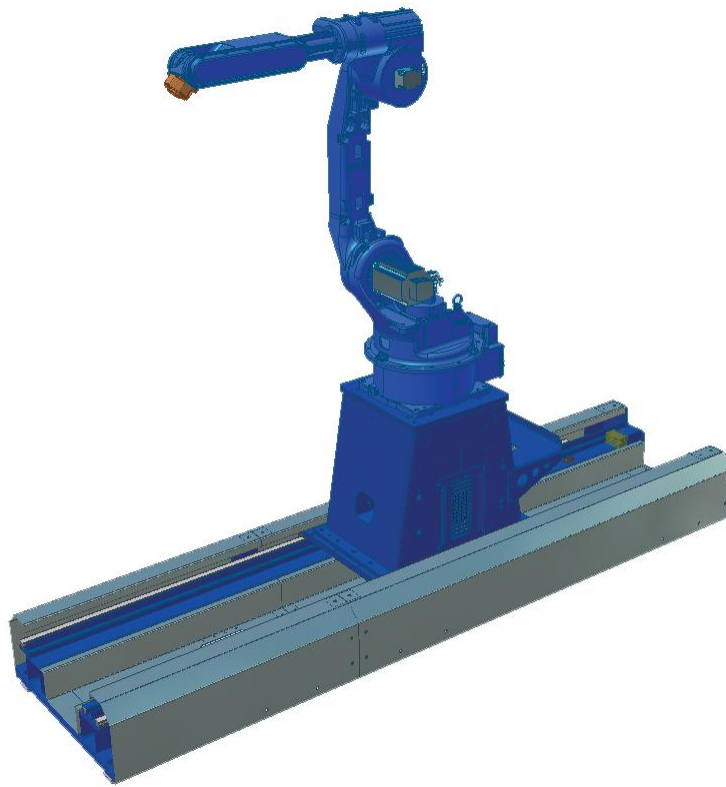
Investointilaskelmien tekemiseen tarvittavaan pohjatietoon kuuluu olennaisesti tarkoituksenmukaisen robottihitsauslaitteiston hankintahinta. Kyseisen hinnan selvittämiseksi tehtiin tarjouspyyntöjä useille hitsausrobottisolujen toimittajille. Kaikista saaduista tarjouksista edullisimmaksi osoittautui Motomanin UP20MN robottihitsausjärjestelmä, jonka layout näkyy kuvassa 14. Alla on lueteltu tarjoukseen sisältyneet laitteet sekä käyttöönotto- ja koulutustyö, Motoman UP20MN hitsausrobotti joka näkyy kuvassa 15.

- NX100 robottiohjain.
- Motoman TSL1000SN servorata, liikepituus 5150 mm.
- Motoman HSB-2000 SN servokäyttöinen pyörityslaite, jonka rakenne voidaan nähdä kuvassa 16.
- Hitsausvarustus; KempArc 500 hitsausvirtalähde langansyöttölaitteistolla, vesijäähdytetty 600 A poltin ja polttimen puhdistusyksikkö (langan katkaisu, kaasuholkin jysintä, sumuvoiteluyksikkö)
- Motoman ComArc III railonhaku ja –seuranta toiminto.
- Turvalaitteet; turva-aidat solun ympärille, turvalalokenno kulkuaukkoon.
- Järjestelmän asennus ja –käyttöönotto.
- Robottiohjelmointikoulutusta 5 päivää.

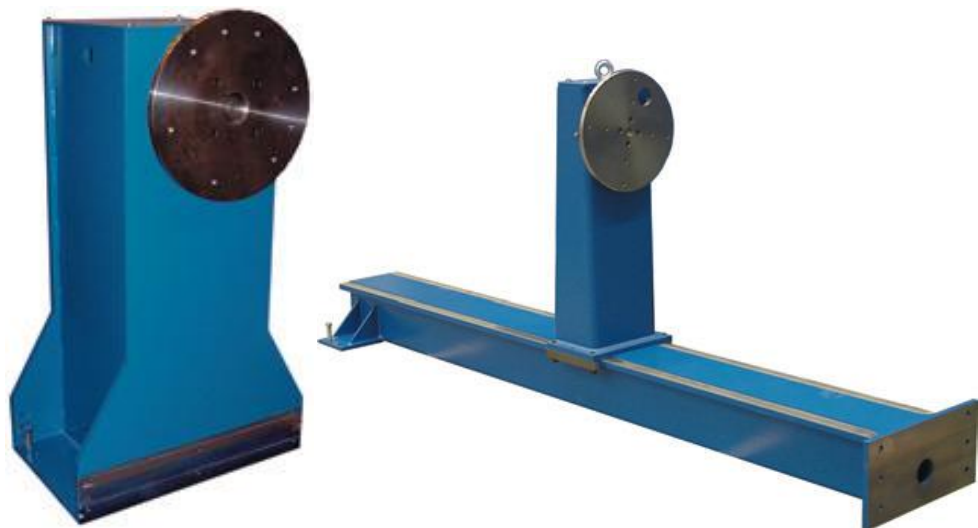
Edellämainittujen laitteiden, tarvikkeiden, asennustyön ja koulutuksen yhteishinnaksi muodostui x euroa (tarjouksessa esitetty summa on poistettu). Tähän hintaan ei ole laskettu arvonlisäveroa. (Louhisola, 8.1.2009 sähköpostiviesti.)



Kuva 14. UP20MN robottihitsausjärjestelmän layout.



*Kuva 14. Motoman UP20MN hitsausrobotti.*



*Kuva 15. Motoman HSB-2000 SN- pyörityslaite.*

## 7 HITSAUSROBOTTIASEMAAN INVESTOIMINEN

Robotisoinnin taloudellista kannattavuutta tarkastellessa on tehtävä tarkat investointilaskelmat väärin johtopäätöksiä välttämiseksi. Ennen robottisoluun investoimista on varmistuttava, että saavutettavat säästöt ylittävät investointi- ja käyttökustannukset suunniteltuna takaisinmaksuaikana. Seuraavassa on eritelty robottijärjestelmästä aiheutuvia kustannuksia ja säästöjä.

Robottijärjestelmän investointikustannuksia ovat:

- Robotin hankintakustannus eli robotin ostohinta, jossa on mukana sovelluksen edellyttämät robottiin kuuluvat lisälaitteet ja erityisominaisuudet.
- Suunnittelukustannukset. Eli robotin asentamisen ja käyttöönoton suunnittelu.
- Asennus- ja käyttöönottokustannukset eli materiaalit ja työ, jotka tarvitaan robotin sijoituspaikan rakentamiseen (lattiatyöt, sähkötyöt, paineilma-verkon laajennus jne.)
- Työvälineiden ja oheislaitteiden hankintakustannukset kuten tarraimien, syöttölaitteiden, ruuvinvääntimien, palettien ja kuljetinratojen hankinta.
- Lisäkustannukset eli muut kustannukset jotka eivät sisälly muihin kustannusryhmiin. Näitä ovat esimerkiksi tarvittavat työkalut, turva-aidat ja valoverhot.

Robottijärjestelmän käyttökustannuksia ovat:

- Välittömät palkkakustannukset eli robottijärjestelmän käyttäjien palkkakustannukset.
- Välilliset palkkakustannukset eli robottijärjestelmän käyttöä tukevien ja avustavien henkilöiden palkkakustannukset (ohjelmointi, työnjohto jne.).
- Huolto ja kunnossapitokustannukset eli ennakoivan ja korjaavan kunnossapidon kustannukset ja robotin huolto.
- Energia- aine- ja tarvikkekustannukset eli kustannukset, jotka syntyvät robottijärjestelmän käytöstä (sähkö, paineilma, voiteluaineet). Nämä ovat yleensä hyvin pieni kustannuserä verrattuna muihin käyttökustannuksiin

- Koulutuskustannukset. Vaikka robottijärjestelmän koulutus on jatkuvaa, voidaan osa siitä kohdistaa investointimenon kaltaisesti robotin käyttöönottovaiheeseen ja osa käsitellä tietotaidon ylläpitona ja järjestelmän käytön tehostamiskoulutuksena

Vaikka robottijärjestelmästä pyritään rakentamaan pitkälle automatisoitu ja tavoitteena ovat mahdollisimman pitkät miehittämättömät käyttöjaksot, käyttökustannuksista suuren osan muodostavat työkustannukset.

Robottijärjestelmän investointilaskelmien säästöt voidaan jaotella seuraaviin ryhmiin:

#### Keskeneräisen tuotannon väheneminen.

Tuotannon lyhyt läpäisy aika, nopeat vaiheajat, miehittämättömät tuotantojaksot ja työvuorot sekä useiden tuotantovaiheiden integroiminen yhteen robottijärjestelmään mahdollistavat pienet varastot ja alentavat keskeneräisen tuotannon määrää.

#### Valmisvaraston pieneneminen.

Joustava robotisoitu tuotantoautomaatio mahdollistaa pienet tuotantoerät ja asiakasmyötäisen tilausohjautuvan tuotannon. Näin tarve valmistuotevarastoihin häviää.

#### Materiaalikustannusten säästöt.

Robotti säästää tarkkuutensa ansiosta materiaaleja.

#### Vältetään virheelliset kappaleet ja niiden korjaaminen.

Robotti ei tee väsymyksestä tai vireyden muutoksista aiheutuvia virheitä eli tuotantojärjestelmästä on karsittu ns. inhimillinen virhetekijä pois. Kun ei tehdä virheitä, ei niiden korjaamiseen kulu työtä ja energiaa.

### Tarvittavan tilan väheneminen.

Robotisoitu tuotantojärjestelmä vaatii vähemmän tilaa kuin vastaava manuaalinen tuotantoyksikkö.(Aaltonen, Torvinen 1997, 166.) Tässä tapauksessa voitaisiin kuvitella robotin pystyvän hoitamaan kahden, tai useamman, pyörittäjällä varustetun hitsauspisteen työt.

## 7.1 Investoinnin kannattavuuslaskelmat

Perinteisten investointilaskelmien soveltamista joustavan tuotantoautomaation laitehankintoihin on aiheellisesti kritisoitu mm. seuraavin perustein:

- alussa vaaditaan huomattavia rahallisia panostuksia
- diskonttausmenetelmät ovat erittäin herkkiä lähtötietojen oikeellisuudelle
- saavutettavat hyödyt ovat takapainotteisia ja riippuvat mm.:
  - tulevien vuosien myynnistä
  - laitteiston käyttöönoton nopeudesta
  - muun tuotannon sopeuttamisesta uuteen tilanteeseen

Tästä johtuen on suuri riski tehdä vääriä johtopäätöksiä robotisoinnin kannattavuudesta.

Koska robottihitsausaseman tuntihinnan määrittäminen ei ole yksiselitteistä, perinteisen kannattavuusmittarin (kustannus/aikayksikkö [€/ h]) sijasta voidaan tutkia tuotteen valmistuskustannuksia [€/tuote] nykyisin menetelmin vaaditulla pitoajalla ja verrata sitten niitä investointivaihtoehtoon koko pitoajalla. Tai kuten tässä työssä, laskea hitsiaineen tuottamisen kustannukset [€/kg] ja verrata menetelmiä toisiinsa.



### 7.1.1 Hitsauksen paloaikasuhteet

Tuntiyhteenvetojen (LIITE 5) mukaan yhden rungon keskimääräinen hitsausaika käsin on  $x\ h$  (*hitsausajat poistettu*). Kun tähän lisätään jauhekaarihitsaukseen kulunut aika, saadaan kokonaisajaksi  $x\ h + z\ h = zx\ h$ . Teoreettisilla arvoilla laskettuja valokaariaikoja (LIITE4) ja toteutuneita työaikoja vertailemalla saatiin laskettua hitsaamisen paloaikasuhte (LIITE5). Paloaikasuhte lasketaan kaavalla:

$$paloaikasuhte[\%] = \frac{kaariaika * 100}{hitsaustyön\_aika} = x\%$$

Jauhekaarella hitsattaessa paloaikasuhte on:

$$paloaikasuhte[\%] = \frac{kaariaika * 100}{hitsaustyön\_aika} = x\%$$

Eräässä Kanadassa äskettäin tehdyssä hyvin laajassa kartoituksessa selvitettiin paloaikasuhdetta 713 yrityksessä. Yrityksissä käytettiin puikko-, MIG/MAG- ja täytelankahitsausta. Paloaikasuhteen keskiarvoksi saatiin vain 14,8 %. Vain noin 100 yrityksessä paloaikasuhte oli 25 % tai yli sekä noin 400 yrityksessä 10 % tai vähemmän. Mekanisoidulla - ja automatisoidulla hitsauksella vastaava luku voi olla jopa 70- 90 %. (Lukkari 2008, 13 [viitattu 13.3.2009].)

Yltäminen edellä mainittuun 70- 90 % paloaikasuhteeseen kyseisen tuotteen hitsaamisessa on mahdollista, mutta epätodennäköistä. Tämä johtuu siitä, että esilämmitettävät osat on lämmitettävä rungon ollessa kiinni robottihitsausaseman pyörittäjässä. Tämän lisäksi kesken hitsauksen kiinnitettävät osat aiheuttavat myös robotille seisahduksia ja huonontavat paloaikasuhdetta. Robottihitsauksen paloaikasuhteena voidaan siis tässä pitää varovaista 50 %:n arvoa.

### 7.1.2 Kustannukset

Seuraavassa tarkastellaan takarungon hitsaamisesta aiheutuvia kuluja. Robotti- ja käsin hitsauksella tuotetulle hitsiaineelle on laskettu sen tuottamisesta syntyneet kustannukset. Laskelmia varten määritellään seuraavat kustannukset.

#### 7.1.2.1 Hankinta-, käyttö- ja käyttöönottokustannukset

Hitsausrobotiaseman hankintahinta on x euroa.

Hankintahinnan lisäksi on koneen käyttöönotto- ja käyttökustannuksiin kuuluvat:

Asennus- ja käyttöönottokustannukset: 2 000€ (Kankala 14.5.2009).

Huoltokustannukset: 3 000€/ vuosi

Robottihitsausohjelman tekokustannukset:

Ohjelmointiajaksi on arvioitu 0,5 h/ hitsausminuutti robotilla (Nättiaho 12.5.2009).

Vuotuiseen x kpl takarungon tuotantomäärään sisältyy kolme eri runkomallia. Käyttäen simuloinnissa selvitettyä robottihitsausaika ja hitsausoperaattorin työtuntikustannusta, voidaan pelkän runko- osan hitsausohjelmien hinnaksi laskea:

3743,25€

Hitsattaessa myös pilari ja telikiinnitys robotilla, ohjelmoinnin hinnaksi muodostuu:

6420,45€

Hitsausohjelmien teon oletetaan tapahtuvan robotin hankintavuonna, jolloin työvoimakustannusten vuotuista nousua ei tässä tapauksessa oteta huomioon.

Pelkän runko- osan hitsaamiseen tarvittavan perusinvestoinnin suuruus on siis  $x \text{ €} + 2\,000\text{€} + 3\,700\text{€} = x \text{ €}$  (Robottihitsausaseman hinta poistettu). Hitsattaessa vielä lisäksi telikiinnitys sekä pilari summaksi saadaan  $x \text{ €} + 2\,000\text{€} + 6\,400\text{€} = x \text{ €}$ .

### 7.1.2.2 Työvoimakustannukset

Tässä työssä tarkastellut työvoimakustannukset katsottiin luottamuksellisiksi, eikä niitä tarkastella tässä työn versiossa.

Varsinkin automatisoimattomassa hitsaamisessa työvoimakustannusten osuus kokonaiskustannuksista on merkittävä. Seuraavassa on tarkasteltu hitsaamisen työvoimakustannuksia ja niiden vuotuista kasvua.

- Määritellään hitsauksen nykyinen työvoimakustannus,  $K_{kh} = x$  (Kankare 5.12.2008)

- Lasketaan hitsauksen vertailutyövoimakustannus,  $K_{kh \text{ vert}} [\text{€/h}]$ :

Vuotuiset työvoimakustannukset kasvavat 3 % vuodessa. Tämä huomioon ottaen, lasketaan takaisinmaksuajalle arvio keskimääräisestä työvoimakustannuksesta:

$$K_{kh \text{ vert}} = K_{kh} * 1,03^{(n/2)} = x\text{€} * 1,03^{(5/2)} = x\text{€}/h$$

Hitsausoperaattorin palkka poikkeaa yleensä hieman hitsarin palkasta. Siispä operaattorin työvoimakustannukset on myös määriteltävä. Miehitämättömien hitsausjaksojen määrää ei kuitenkaan ilman koehitsauksia pystytä luotettavasti määrittämään. Siispä voidaan olettaa operaattorin valvovan robotin toimintaa koko hitsausohjelman ajan.

- Määritellään hitsausoperaattorin nykyinen työvoimakustannus,  $K_{rh} = x\text{€/h}$  (Kankare 5.12.2008)

- Lasketaan operaattorin vertailutyövoimakustannus,  $K_{rh \text{ vert}} * 1,03^{(n/2)} = x\text{€} * 1,03^{(5/2)} = x\text{€/h}$ .

### 7.1.2.3 Hitsaamisen kustannukset

Hitsaamisen edellyttämät tarpeet, kuten hitsauskone, lisäaineet ja työvoima, aiheuttavat kaikki erisuuruisia kustannuksia. Seuraavassa on laskettu näille eri kustannuserille arvot, niin käsin -, kuin robottihitsauksessakin. Ensin on laskelmia varten määriteltävä:

takaisinmaksuaika(tavoite),  $n = 5$  vuotta

laskentakorkokanta vieraalla pääomalla,  $i = 6\%$

investoinnin jäännösarvo takaisinmaksuajan jälkeen,  $Ja_n = 0\text{€}$  (Hitsausrobotin solua myydä takaisinmaksuajan jälkeen)

- Robotin vuotuiset käyttötunnit:

$$\frac{\text{Hitsiainekilot} / \text{tuote}}{\text{Hitsiaineen\_tuotto}[\text{kg} / \text{h}]} * \frac{1}{\text{Kaariaikasuhte}} * \text{Hitsattavia\_tuotteita\_vuodessa} =$$

$$\frac{13,8\text{kg}}{8,9\text{kg} / \text{h}} * \frac{1}{0,5} * x = xh$$

Robotin vuotuiset käyttötunnit vaikuttavat suuresti koneen tuntihintaan. Mitä enemmän vuotuisia hitsaustunteja robotille saadaan, sen edullisemmaksi tuntihinta muodostuu.

Tästä johtuen kustannukset on laskettava niin pelkän runko- osan robottihitsaamiselle kuin myös takarungon muidenkin osien hitsaamiselle. Ensin lasketaan runko- osan hitsaamisen kustannukset:

- Koneen (robotin) tuntihinta. Tämä saadaan selville laskemalla:

$$\text{Koneen\_ostohinta} * \left( \frac{1}{\text{koneen\_poistoaika}[\text{v}]} * \frac{\text{korkokanta}}{200} * \text{huoltokustannukset}[\text{€} / \text{v}] \right)$$

$$* \frac{1}{\text{käyttöaika}[\text{h} / \text{v}]}$$

$$= x\text{€} * \left( \frac{1}{5\text{v}} * \frac{6\%}{200} * 3000\text{€} \right) * \frac{1}{xh} = x\text{€} / h$$

- Konekustannukset [€/hitsiainekilo]:

$$\frac{1}{\text{hitsiaineentuotto}[\text{kg} / \text{h}]} * \frac{1}{\text{kaariaikasuhte}} * \text{koneen\_tuntihinta}$$

$$= \frac{1}{8,9\text{kg} / \text{h}} * \frac{1}{0,5} * x\text{€} / h = x\text{€} / \text{kg}$$

- Työkustannukset [€/hitsiainekilo]:

$$\frac{1}{\text{hitsiaineentuotto}[kg/h]} * \frac{1}{\text{kaariaikasuhte}} * \text{työtunnin\_hint} a$$

$$= \frac{1}{8,9kg/h} * \frac{1}{0,5} * x€/h = x€/kg$$

- Lisäainekustannukset [€/hitsiainekilo]:

$$\frac{\text{lisäaineen\_ostohint} a[€/kg]}{\text{lisäaineen\_hyötyluku}} = \frac{1€/kg}{0,95} = 1,05€/kg$$

- Suojakaasukustannukset [€/hitsiainekilo]:

$$\frac{1}{\text{hitsiaineen\_tuotto}[kg/h]} * 60 * \text{kaasun\_virtaus}[l/min] * \frac{\text{suojakaasun\_ostohint} a[€/m^3]}{1000}$$

$$= \frac{1}{8,9kg/h} * 60 * 16l/min * \frac{2€/m^3}{1000} = 0,22€/kg$$

- Energiakustannukset [€/hitsiainekilo]:

$$\text{Energian hinta [€/kWh]} * \text{energian kulutus [kWh/kg]} = 0,1€/kWh * 4kWh/kg$$

$$= 0,4€/kg$$

Kokonaishinta tuotetulle hitsiainekilolle saadaan summaamalla kone-, työ-, lisäaine-, energia-, ja suojakaasukustannukset yhteen:  $x €/kg + x €/kg + x €/kg + 0,22€/kg + 0,4€/kg = x €/kg$

Seuraavaksi määritellään samat kustannukset kuin edellä, hitsattaessa runko- osan lisäksi myös telikiinnitys ja pilari. Suurin osa laskentaan tarvittavista arvoista pysyy samana, mutta hitsiaineen määrän lisääntyessä myös vuotuiset käyttötunnit lisääntyvät.:

$$\frac{23,7kg}{8,9kg/h} * \frac{1}{0,5} * x = xh$$

Tätä arvoa ja edellä mainittuja kaavoja apuna käyttäen hitsauskustannuksiksi saadaan:

- Hitsauskoneen tuntihinta:  $x €/h$
- Konekustannukset:  $x €/kg$
- Työkustannukset:  $x €/kg$
- Lisäainekustannukset:  $1,05 €/kg$
- Suojakaasukustannukset:  $0,22 €/kg$
- Energiakustannukset:  $0,4 €/kg$

Kokonaiskustannukset saadaan laskettua summaamalla edelliset yhteen:

$$x \text{ €/kg} + x \text{ €/kg} + 1,05 \text{ €/kg} + 0,4 \text{ €/kg} + 0,22 \text{ €/kg} = x \text{ €/kg}$$

Robotilla hitsaamisesta aiheutuneiden kustannusten selvittämisen jälkeen on laskettava vastaavat arvot myös käsin hitsaamiselle. Näiden kustannusten selvittämiseen käytetään samoja laskukaavoja kuin edellä. Jotkin lähtöarvot tosin poikkeavat edellisestä. Näitä ovat:

- Koneen ostohinta: 10 000€
- Käyttöaika:  $x \text{ h/v}$
- Hitsiaineen tuotto:  $x \text{ kg/h}$
- Kaariaikasuhte:  $x$
- Työtunnin hinta:  $x$
- Huoltokustannukset: 200 €/v

Edellä mainittuja kaavoja käyttäen saadaan laskettua:

- Hitsauskoneen tuntihinta:  $x \text{ €/h}$
- Konekustannukset:  $x \text{ €/kg}$
- Työkustannukset:  $x \text{ €/kg}$
- Lisäainekustannukset: 1,05 €/kg
- Suojakaasukustannukset: 0,49 €/kg
- Energiakustannukset: 0,30€/kg

Kokonaishinnaksi käsin hitsatulle hitsiainekilolle muodostuu  $x \text{ €/kg}$

### 7.1.3 Robottihitsaamisen tuomat vuotuiset säästöt

Edellä laskettiin käsin - ja robottihitsauksesta aiheutuneita kustannuksia. Vertailemalla näitä kustannuksia toisiinsa saadaan laskettua robottihitsauksella saavutettavat säästöt. Jotta vertailu voitaisiin suorittaa, on tiedettävä vuotuiset hitsauskustannukset kussakin tapauksessa. Niiden selvittämiseksi on tiedettävä, paljonko hitsiainekiloja yhdessä takarungossa on.

Koko tuotteessa hitsiainekiloja on 30,4 kg, kuten liitteestä 4 voidaan nähdä.

Kuten jo aiemmin mainittiin, pelkässä runko- osassa on robotilla hitsattavia kiloja 13,8.

Käsin hitsattavaa jää siis  $30,4\text{kg} - 13,8\text{kg} = 16,6\text{kg}$

Hitsattaessa rungon lisäksi telinkiinnitys ja pilari, robotin tuottamia hitsiainekiloja syntyy 23,7kg. Tällöin käsin hitsattavaa jää  $30,4\text{kg} - 23,7\text{kg} = 6,7\text{kg}$

Vuotuiset hitsauskustannukset lasketaan seuraavasti: Hitsiainekilot\* hitsiaineen kilohinta\* tuotteita vuodessa.

- Käsin hitsattaessa:  $30,4\text{kg} * x\text{€} / \text{kg} * 80 \frac{1}{v} = x\text{€} / v$
- Runko- osan hitsaus robotilla:  

$$(13,8\text{kg} * x\text{€} / \text{kg}) + (6,60\text{kg} * x\text{€} / \text{kg}) * 80 \frac{1}{v} = x\text{€} / v$$
- Runko-, pilari- ja telinkiinnitys- osat hitsataan robotilla:  

$$(23,70\text{kg} * x\text{€} / \text{kg}) + (6,69\text{kg} * x\text{€} / \text{kg}) * 80 \frac{1}{v} = x\text{€} / v$$

Säästöt hitsauskustannuksissa voidaan laskea vähentämällä käsin hitsaamisen vuotuisista kustannuksista robottihitsauksen vastaavat.:

- Runko- osan hitsaus robotilla:  $x\text{€} / v - z\text{€} / v = 18839\text{€} / v$
- Runko-, pilari- ja telinkiinnitys- osat hitsataan robotilla:  

$$x\text{€} / v - x\text{€} / v = 57489\text{€} / v$$

#### 7.1.4 Investoinnin kannattavuuden arvioiminen nykyarvomenetelmällä

Nykyarvo- eli diskonttausmenetelmällä voidaan eri aikoina tapahtuvat suoritukset saattaa vertailukelpoisiksi. Menetelmää käytetään siten, että kaikki tulevaisuuden suoritukset kerrotaan ns. diskonttauskertoimella, jolloin saadaan suorituksia vastaavat nykyiset arvostukset eli nykyarvot.

Mikäli suoritusten nykyarvojen summa on investoinnille vaadittavalla korolla laskettuna positiivinen, on investointi kannattava. Diskonttauserroin saadaan kaavasta

$$v_{n/i} = \frac{1}{(1+i)^n}, \text{ jossa } i = \text{laskentakorkokanta ja } n = \text{vuosien määrä. (}$$

Nettotuottojen nykyarvo saadaan laskettua kaavalla  $V_0 = K_n * v_{n/i}$ , jossa  $K_n$  on vuoden  $n$  nettotuotto. (TTY 2005 [viitattu 2.4.2009])

Investoinnin suoritusten (tuottojen) nykyarvo  $K$  saadaan myös laskettua kaavalla:

$$K = H + \frac{q_1}{(1+i)^1} + \frac{q_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{q_n}{(1+i)^n}, \text{ jossa } H = \text{investoinnin hankintameno,}$$

$q$  = investoinnin suoritukset vuodessa ja  $i$  = käytetty laskentakorko. (TKK 2002 [viitattu 2.4.2009])

Investointi on kannattava, jos siitä kertyvien nettotuottojen ja jäännösarvon nykyarvo on suurempi kuin perushankintakustannus  $H$ . Taulukossa 6 on laskettuna robottihitsauksesta aiheutuvien säästöjen nykyarvosumma hitsattaessa robotilla pelkkä runko- osa. Laskelmissa on huomioitu myös asennus- ja käyttöönotto-, huolto-, sekä ohjelmointikustannukset. Rungon, pilarin ja telinkiinnityksen robottihitsaamisen nykyarvolaskelmat ovat taulukossa 7.



*Taulukko 6. Nykyarvolaskelmat runko- osan robottihitsauksessa.*

	Vuotuiset				
Vuodet	Kustannukset	Tuotot	Nettotuotto	Diskonttaustekijä	Nykyarvo
0	x		-x	1	-x
1		18839	18839	0,9434	17773
2		18839	18839	0,8900	16767
3		18839	18839	0,8396	15818
4		18839	18839	0,7921	14922
5		18839	18839	0,7473	14078
				<b>Nykyarvosumma</b>	<b>-x</b>

*Taulukko 7. Nykyarvolaskelmat runko- osan, pilarin ja telinkiinnityksen robottihitsauksessa.*

	Vuotuiset				
Vuodet	Kustannukset	Tuotot	Nettotuotto	Diskonttaustekijä	Nykyarvo
0	x		-x	1	-x
1		57489	57489	0,9434	54235
2		57489	57489	0,8900	51165
3		57489	57489	0,8396	48269
4		57489	57489	0,7921	45537
5		57489	57489	0,7473	42959
				<b>Nykyarvosumma</b>	<b>x</b>

Investointi on kannattava, jos siitä kertyvien nettotuottojen ja jäännösarvon nykyarvo on suurempi kuin perushankintakustannus, eli nykyarvosumma on positiivinen. Pelkän runko- osan hitsaamisessa jäännösarvo jäi negatiiviseksi. Investointi ei siis ole taloudellisesti kannattava. Jälkimmäisessä tapauksessa nykyarvojen summa taas on positiivinen, eli investointi on näiden laskelmien valossa kannattava.

## 8 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli tarkastella metsäkoneen takarungon hitsaamisen robotisointia ja siihen investoimisen taloudellisia vaikutuksia. Työn teoriaosuudessa perehdyttiin robotiikan ja robottihitsauksen perusteisiin. Selvitettiin myös robotisoinnin asettamia vaatimuksia tuotteen hitsaamisessa sekä robottihitsauksen yleisimpiä ongelmia.

Työn käytännön osuuden tavoitteena oli tarkastella tuotteen nykyisiä hitsausmenetelmiä ja -aikoja sekä kustannuksia. Työssä kartoitettiin myös tuotteen robotisoitavat hitsit. Takarungolle tehtiin hitsausjärjestys, jota noudatettiin robottihitsauksen simuloinnissa.

Mahdollisia robottihitsauksessa ilmeneviä ongelmia lähdettiin selvittämään simuloinnin avulla. Simuloinnissa ei havaittu mitään seikkoja, jotka estäisivät tuotteen robotisoidun hitsaamisen. Kappaleen hitsausta simuloitiin Igrip- ohjelmalla. Simuloinnissa havaittiin myös robottihitsauksen olevan huomattavasti nopeampi menetelmä käsin hitsaamiseen verrattuna.

Aiemmin oli selvitetty tuotteen hitsaamiseen kuluva aika käsin hitsattaessa. Näitä tietoja voitiin vertailla simuloinnista saatuihin arvoihin robottihitsauksella saavutettavien säästöjen määrittämiseksi. Robottihitsausasemien toimittajilta saatuja tarjouksia ja selvitettyjä säästöjä apuna käyttäen voitiin tutkia investoinnin kannattavuutta.

Investointilaskelmissa arvioitiin robottihitsausasemaan investoimisen kannattavuutta. Laskelmissa havaittiin investointi kannattavaksi, jos rungon lisäksi myös pilari ja telinkiinnitys hitsataan robotilla. Robottihitsaamisella saavutetut säästöt johtuivat robottihitsauksen paremmasta paloaikasuhteesta ja hitsiaineentuotosta.

Jotta takarungon hitsaamisessa saavutettaisiin riittävän suuret säästöt, on robottihitsausohjelman toimittava moitteettomasti. Hyvin toimivaan ohjelmaan on uhrattava riittävästi aikaa ja kokeiltava hitsausparametrien toimivuutta käytännössä.

Vasta hitsausaseman ollessa käytössä voidaan kaikki robottihitsauksen tuomat ongelmat ja kehityskohteet havaita.

## 9 TYÖN ARVIOINTI

Seuraavassa käydään läpi työn tuloksiin ja johtopäätöksiin vaikuttaneita seikkoja. Pohditaan myös, mitä asioita olisi voinut tehdä toisin tämän opinnäytetyön teossa. Sekä arvioidaan näiden asioiden mahdollista vaikutusta lopputuloksiin.

Investointilaskelmissa ei voitu syvällisesti perehtyä kaikkien osa- alueiden kustannuksiin. Esim. asennus- ja käyttöönottokustannusten tarkka määrittäminen, ilman tietoa tarkasta asennuspaikasta, olisi ollut melko hankalaa. Tämän takia jouduttiin käyttämään karkeaa arviota kustannuksista. Mm. lattian valmistelu, sähkötyöt ja paineilmaverkoston muutokset tuovat oman kustannuseränsä, jonka suuruutta on vaikea tarkasti arvioida.

Robotin todelliset käyttö-, huolto- ja kunnossapitokustannukset selviävät vasta robotin ollessa tuotannollisessa käytössä. Robottihitsausohjelman laatimiseen kuluva ajasta ja siten myös kustannuksista esitettiin vain suuntaa antava arvio. Esim. mahdollisista konstruktio muutoksista aiheutuviin ohjelmointikustannuksiin ei otettu kantaa.

Kaikilla edellä mainituilla kustannuserillä olisi varmasti ollut oma vaikutuksensa laskelmien lopputulokseen. Lisääntyneet kustannukset luonnollisesti heikentäisivät hankinnan kannattavuutta. Vaikkei kaikkia hitsausaseman kustannuksia voitukaan tarkasti selvittää, saadaan laskelmista kuitenkin hyvä suuntaviitta arvioitaessa hitsausrobotisolun investoimisen kannattavuutta.

## 10 LÄHTEET

### Kirjalliset lähteet

Aaltonen, Kalevi; Torvinen, Seppo 1997. Konepaja- automaatio. Porvoo: WSOY

Esab 1998. Hitsauslisäaineet. Helsinki

Grönlund, Eero 1985. Hitsaustekniikka. 5. Lisäpainos. Espoo: Otakustantamo

Hiltunen, E 2008. Hitsauskustannukset. Lappeenrannan teknillinen yliopisto

Hiltunen, E; Purhonen T 2008. Robottihitsauksen laatu- monen tekijän summa, Hitsaustekniikka- lehti 4/2008 s.34

Ihalainen, E; Aaltonen, K; Aromäki, M; Sihvonen, P 2003. Valmistustekniikka. 10. muuttumaton painos. Helsinki: Otatieto

Lukkari, Juha 1997. Hitsaustekniikka: Perusteet ja kaarihitsaus. 3., tarkistettu painos.

Keinänen, Tommi; Kärkkäinen, Pentti; Metso, Tommi; Putkonen, Kari 2001. Koneautomaatio 2: Logiikat ja ohjausjärjestelmät. Porvoo: WSOY

Helsinki: Edita: Veikkolainen, Mikko, Hitsauksen robotisoinnin vaatimukset ja vaikutukset robotisoidussa hitsauksessa, Hitsaustekniikka 6/1998 s.2

### Sähköiset lähteet

Lukkari, Juha 2008. Esab: Hitsausuutiset 1/ 2008 [viitattu 13.3.2009] Saatavissa <http://www.esab.fi/fi/fi/news/upload/HU-1-08.pdf>

Suomen Robotiikkayhdistys ry 2008. Suomen teollisuusrobottitilastot 2007 [viitattu 7.1.2009]. Saatavissa [http://www.roboyhd.fi/tilastot/Teollisuusrobottitilasto\\_2007.pdf](http://www.roboyhd.fi/tilastot/Teollisuusrobottitilasto_2007.pdf)

Teknillinen Korkeakoulu 2008. Teollisuusrobotit [viitattu 21.2.2009]. Saatavissa <https://noppa.tkk.fi/noppa/kurssi/as-116.1100/luennot/teollisuusrobotit.pdf>

TKK/ Energiatalous ja voimalaitostekniikka 2002. Investointien taloudelliset kriteerit [viitattu 2.4.2009] Saatavissa <http://www.tkk.fi/Yksikot/Energiatalous/kurssit/materiaalia/Investointikriteerit.pdf>

TTY Energia- ja prosessitekniikka 2005. Investointilaskut [viitattu 2.4.2009] Saatavissa <http://www.tut.fi/units/me/ener/kurssit/2504010/investointilaskut.pdf>

### Haastattelut

Haste, Jukka; Uutela, Juha; Niskanen Janne, hitsaaja 24.10.2008. Mesekon OY.

Huttunen, Mikko, kehittämisasiantuntija 30.1.2009. Turun koneteknologiakeskus.

Kankala, Timo, laboratorioinsinööri, 14.5.2009 Turun koneteknologiakeskus.

Kankare, Turkka, talousjohtaja 5.12.2008. Mesekon OY

Nättiaho, Tero, tuotantopäällikkö 12.5.2009. Mesekon OY

### Sähköpostilähteet

Louhisola, Pete 8.1.2009. Motoman robottiasema [tulostettu 5.3.2009].  
[veikko.vainio@students.turkuamk.fi](mailto:veikko.vainio@students.turkuamk.fi)

## **11 LIITTEET**

Liite 1. Telinkiinnitys taakse 5f titan

Liite 2. Pilarin hitsaus, titan 1 vaihe, kartiokuulalaakeri

Liite 3. Takarunko 5f, titan hitsaus, 3000

Liite 4. Hitsausarvotaulukoita

Liite 5. Työtunnit

Liite 6. Runko, hitsien numerot

Liite 7. Pilari, hitsien numerot

Liite 8. Telinkiinnitys, hitsien numerot

## **TAULUKOT**

Taulukko 1. Suomen teollisuusrobottien jakautuma teollisuustoimialoittain ja sovelluksittain vuosina 1972 – 2007 (Suomen Robotiikkayhdistys ry 2008 [viitattu 7.1.2009])

Taulukko 2. Pienahitsien hitsiainemäärätaulukko

Taulukko 3. V- hitsien hitsiainemäärätaulukko [Esab 1998]

Taulukko 4. I- hitsien hitsiainemäärätaulukko [Esab]

Taulukko 5. Hitsausohjeet [Esab]